

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Problematika “Smart Grid“

VŠB – Technical university of Ostrava
Faculty of Electrical Engineering and Computer
Department of Electrical Power Engineering

Problems of “Smart Grid“

Prohlašuji, že uvedená bakalářská práce je mé autorské dílo, které jsem vypracoval samostatně. Všechny použité zdroje a literaturu jsem v práci řádně citoval a jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Ostravě dne 4. 5. 2011

.....
Jan Kalwar

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce p. prof. Ing. Stanislavu Ruskovi, CSc. za pomoc a cenné rady. Dále pak doc. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D., Ing. Vladimír Král, Ph.D. a Ing. Marián Uher, nemalou měrou přispěli k vytvoření této práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá technologií Smart Grids.

V první části je vyřešen teoretický rozbor elektrických sítí, popis, historie, výhody a nevýhody technologie Smart grid.

V další části se v práci zaměřuje na Smart Region Vrchlabí, který v rámci iniciativy FUTUR/E/MOTION financuje společnost ČEZ a.s. Zde jsou také popsány jednotlivé etapy pilotního projektu a záměry do budoucna.

Následuje analýza dat získaných dlouhodobým měřením na vývodu transformátoru 35/10kV. Data byla zpracována a porovnána dle metodiky typových diagramů dodávky a byl také vyhodnocen vliv víkendových dnů na tvar diagramu denního zatížení. Tato analýza bude sloužit k návrhu kogenerační jednotky a také napomůže k vyhodnocení celkového technologického a ekonomického přínosu Smart Grids

Klíčová slova

Smart grids, Smart Region Vrchlabí, inteligentní elektrometry, obnovitelné zdroje elektrické energie, denní diagram zatížení, typové diagramy dodávky, kogenerační jednotka.

Abstract

This thesis deals with the Smart Grids.

In the first part is solved theoretical analysis of electrical networks, description, history, advantages/disadvantages of the Smart Grids.

The second part of this work focuses on the Smart Region Vrchlabí, which is part of FUTUR/E/MOTION initiative of ČEZ. Here are further described particular stages of this pilot project and plans for future.

Followed by analysis of data obtained from long-term measurements on pin of transformer 35/10kV. The data were processed and compared according to the methodology of typical supply diagrams and was also evaluated the impact of weekend days on the shape of daily load diagram. This analysis will be used to design a cogeneration unit and will help to evaluate general technological and economical income of Smart Grids.

Key words

Smart Grids, Smart Region Vrchlabi smart meters, renewable power sources, the daily load graph, typical supply diagrams, cogeneration unit.

Seznam použitých značek

Zkratka	Popis	Jednotka
AMM	Automated Meter Management	-
AMR	Automated Meter Reading	-
ČVUT	České Vysoké Učení Technické	-
ČEPS	Česká Přenosová Soustava	-
DDZ	Denní Diagram Zatížení	-
DFT	Diskrétní Fourierova Transformace	-
DS	Distribuční Síť	-
EEGI	evropská průmyslová iniciativa pro chytré sítě	-
EU	Evropská Unie	-
FFT	Fast Fourier Transform	-
GPRS	General Packet Radio Service	-
HDO	Hromadné Dálkové Ovládání	-
CHKO	Chráněná Krajinná Oblast	-
I_C	činná složka el. proudu	[A]
I_J	jalová složka el. proudu	[A]
I_F	fázový proud	[A]
i_{f1-3}	okamžitá fázová hodnota proudu ve fázích 1-3	[A]
ICT	Information and Communication Technology	-
KVET	Kogenerační Výroba Elektřiny a Tepla	-
l	délka vedení	km
MN	Malé Napětí	-
NN	Nízké Napětí	-
P	činný výkon	[W]
P_i	instalovaný výkon	[W]
$P_{U,V,W}$	celkový činný výkon	[W]
P_{MAX}	maximální činný výkon	[W]
$P_{stř}$	střední hodnota činného výkonu	[W]
$P(A, B)$	pravděpodobnost výskytu jevu a a b	-
$P(A)$	pravděpodobnost výskytu jevu a	-
$P(B)$	pravděpodobnost výskytu jevu b	-
PLC	Power Line Communication	-
PS	Přenosová Soustava	-
Q	jalový výkon	[var]
Q_V	výsledná pravděpodobnost poruchy	-

$Q_{U,V,W}$	celkový jalový výkon	[var]
R	elektrický odpor	[Ω]
R_K	elektrický odpor na kilometr	[$\Omega \cdot \text{km}^{-1}$]
R_V	výsledná pravděpodobnost bezporuchového chodu	-
S	zdánlivý výkon	[VA]
$S_{U,V,W}$	celkový zdánlivý výkon	[VA]
SETP	Strategic Energy Technology Plan	-
T	doba provozu – záleží na typu diagramu (den, měsíc, rok, ...)	[h]
t_S	střední doba mezi poruchami	[h]
T_W	šířka okna pro vyhodnocování dat síťových analyzátozem	[h]
TDD _p	typové diagramy dodávky přepočtené na klimatické podmínky	-
U_S	sdržené napětí	[V]
U_F	fázové napětí	[V]
U_{RMS}	efektivní hodnota napětí	[V]
ΔU_F	fázový úbytek napětí	[V]
u_{f1-3}	okamžitá fázová hodnota napětí ve fázích 1-3	[V]
UCTE	integrovaná evropská elektrizační soustava	-
USB	Universal Serial Bus	-
UVN	Ultra Vysoké Napětí	-
VN	Vysoké Napětí	-
VVN	Velmi Vysoké Napětí	-
X	reaktance	[Ω]
X_K	reaktance na kilometr	[$\Omega \cdot \text{km}^{-1}$]
Z	zatěžovatel	-
β	náročnost	-
δ	soudobost	-
ρ	měrný elektrický odpor	[$\Omega \cdot \text{mm}^2$]
λ_{PP}	celková intenzita poruch pro paralelní zapojení prvků	[rok ⁻¹]
λ_P	intenzita poruch	[rok ⁻¹]
λ_U	intenzita údržby	[rok ⁻¹]
λ_{PM}	intenzita poruch zálohovaného prvku	[rok ⁻¹]
τ	střední doba trvání poruchy	[h]
τ_{PP}	celková délka trvání poruchy	[h]
τ_P	délka trvání poruchy	[h]
τ_U	délka trvání údržby	[h]
τ_{PM}	manipulační čas	[h]
τ_Z	doba plných ztrát	[h]

OBSAH

1. Úvod.....	1
2. Teoretický rozbor elektrických sítí	2
2.1. Rozdělení sítí dle napěťové hladiny.....	2
2.2. Úbytek napětí na trojfázových střídavých sítích.....	3
2.3. Základní topologie rozvodných sítí.....	4
2.3.1. Paprskové sítě.....	4
2.3.2. Okružní sítě	4
2.3.3. Mřížové sítě.....	5
2.4. Spolehlivost.....	6
2.4.1. Metoda spolehlivostních schémat	6
2.4.1.1. Sériový systém	7
2.4.1.2. Paralelní systém	7
2.4.1.2.1. Paralelní zapojení prvků – horká rezerva	8
2.4.1.2.2. Paralelní zapojení prvků – studená rezerva	8
3. Smart grids.....	10
3.1. Úvod.....	10
3.2. Historie.....	11
3.3. Smart Grids v evropském kontextu.....	12
3.4. Popis.....	12
3.4.1. Výhody Smart Grids	13
3.4.2. Nevýhody Smart Grids.....	14
3.5. Smart metering.....	14
3.6. Technické prostředky Smart meteringu	14
4. Popis pilotní oblasti Vrchlabí.....	16
4.1. Smart meters ve Smart Regionu.....	17
5. Analýza toku výkonu v části dané oblasti.....	18
5.1. Měřicí systém BK ELCOM ..	19
5.1.1. Charakteristiky měřeného signálu	19
5.1.2. Matematické vyjádření veličin	20
5.1.3. Hardwarové podoby analyzátoru sítí BK ELCOM	21
6. Analýza DDZ dané oblasti.....	24
6.1. Diagram zatížení	24
6.2. Typové diagramy zatížení	28
6.3. Aplikace metodiky TDD	28
6.4. Analýza vlivu soboty, neděle a pondělí na průběh zatížení	31
7. Predikce toku výkonu v long-term intervalu.....	33
8. Vyhodnocení aplikace Smart Grids	33
9. Závěr	34
10. Seznam použité literatury	35
11. Seznam příloh	36

1 Úvod

Asi těžko si dnes dokážeme představit svět bez elektrické energie. Celá moderní civilizace si vybuodovala absolutní závislost na tomto druhu energie, která nám poskytuje světlo, teplo a energii pro naše elektromotory.

Otázkou zůstává, jak dlouho se budeme moci těšit z komfortu, který nám tato “univerzální” energie dává? Výrobních možností ubývá.

Velké vodní toky jsou již osazeny přehradami, zásoby uhlí se tenčí a jaderná energie, po havárii ve Fukušimě, bude na nějaký čas politicky nepřijatelná možnost. Zůstává jediná možnost a tou jsou obnovitelné zdroje energie, ale jak už to v přírodě bývá, nic není zadarmo. Tyto zdroje mají svou obrovskou výhodu, vyrábí elektřinu v podstatě zadarmo, ale také mají i svou velkou nevýhodu, a to zejména svou nestabilitu dodávky výkonu, která může vážně ovlivnit spolehlivost a stabilitu celé elektrizační soustavy.

Řešením tohoto problému mohou být sítě Smart Grids, které jsou výsledkem spolupráce široké škály technických oborů. V této práci je uveden popis této technologie a analýza dat z již probíhajícího pilotního projektu Smart Region Vrchlabí. Výsledky tohoto projektu budou základním kamenem postupné plošné implementace Smart Grids do elektrizační soustavy České Republiky.

2 Teoretický rozbor elektrických sítí

Druh sítě je jedním z charakteristických rysů, který definuje vlastnosti a možnosti provozu dané sítě. Sít' není tvořena jen vodiči, ale i množstvím rozvodných uzlů, které obsahují spínací, jistící, ovládací a měřicí prvky popřípadě další zařízení. Konkrétní sít' je určena počtem napájecích bodů, umístěním těchto bodů, velikostí sítě a prostorovém uspořádání spotřebičů. V neposlední řadě zde hraje roli i důležitost jednotlivých spotřebičů a jejich závislost na nepřerušované dodávce elektrické energie. V praxi si tyto napájecí body můžeme představit jako hlavní rozvaděče, které dále rozvádí energii do podružných rozvaděčů a odtud až ke spotřebičům nebo dalších rozvodnic.

2.1 Rozdělení sítí dle napět'ové hladiny [4]

Elektrotechnické normy a předpisy rozdělují elektrické napětí podle velikosti do následujících napět'ových hladin:

Druh	Značka	Hodnota
Malé napětí	MN	do 50V
Nízké napětí	NN	50-1000V
Vysoké napětí	VN	1-52kV
Velmi vysoké napětí	VVN	52-300kV
Zvláště vysoké napětí	ZVN	300-800kV
Ultra vysoké napětí	UVN	více než 800kV

Tab. č. 1 - rozdělení dle napět'ové hladiny

Z uvedených rozsahů se v ČR používají napětí v rozvodných soustavách:

- 0,4 kV - DS (to je 400 V sdružené a odpovídající 230 V fázové)
- 22 a 35 kV - DS
- 110 kV - DS, PS
- 220 kV - PS
- 400 kV - PS,

Kde **DS** je distribuční soustava a **PS** je přenosová soustava.

Hodnota se v různých místech sítě může lišit od jmenovité hodnoty. Tyto meze určují příslušné normy.

Hladina napětí	Dovolená odchylka	Norma
NN	±10%	ČSN 33 0121
VN	±10%	ČSN EN 50 160 (ČSN 33 0122)
110kV	±10%	ČSN 33 0120
220kV	±10%	
400kV	±5%	

Tab. č. 2 - dovolené odchylky napětí

2.2 Úbytek napětí na trojfázových střídavých vedeních [2]

Vyrobenou energii je třeba přenést na větší vzdálenost do místa spotřeby elektrickým vedením. Na tomto vedení však vznikají ztráty. V třífázových soustavách vzniká i úbytek nejen vlivem odporu vodiče, ale i jeho reaktancí.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} \quad [\text{A}]; \quad R = R_K \cdot l \quad [\Omega]; \quad X = X_K \cdot l \quad [\Omega] \quad (1)$$

$$\Delta U_f = R \cdot I_c \pm X \cdot I_j \quad \text{Reálná složka} \quad (2)$$

$$I_c = I \cdot \cos \varphi \quad (3)$$

$$I_j = I \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

Toto si dále můžeme rozepsat pro určité vedení o délce l , průřezu S a reaktanci X_K

$$\Delta U_f = \left[\frac{\sqrt{3} \cdot l}{S} \cdot \sum_{i=1}^n I_{ci} \cdot I_i \right] \pm \left[\sqrt{3} \cdot X_K \cdot \sum_{i=1}^n I_{ji} \cdot I_i \right] \quad (5)$$

U kabelových vedení, kde X_K je daleko menší než R_K druhý člen rovnice zanedbáváme.

Úbytek napětí je závislý na délce, průřezu, materiálu vodiče a proudu, který jím prochází.

K přenosu elektrické energie neodlučitelně patří i ztráty. Tyto ztráty značíme ΔP .

$$\Delta P = \frac{3 \cdot \rho}{S} \cdot \sum_{i=1}^n I_{ci}^2 \cdot l_i \quad (6)$$

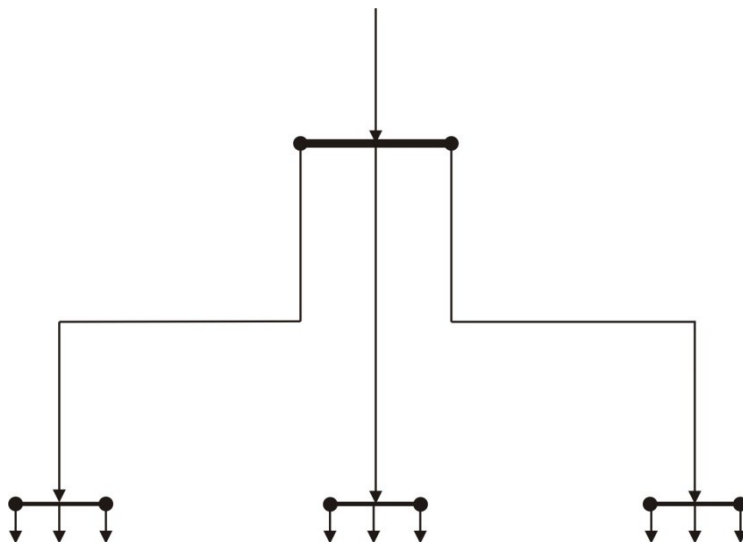
neboli

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2 \quad (7)$$

Také je můžeme určit jako rozdíl mezi příkonem a výkonem

2.3 Základní topologie rozvodných sítí [5]

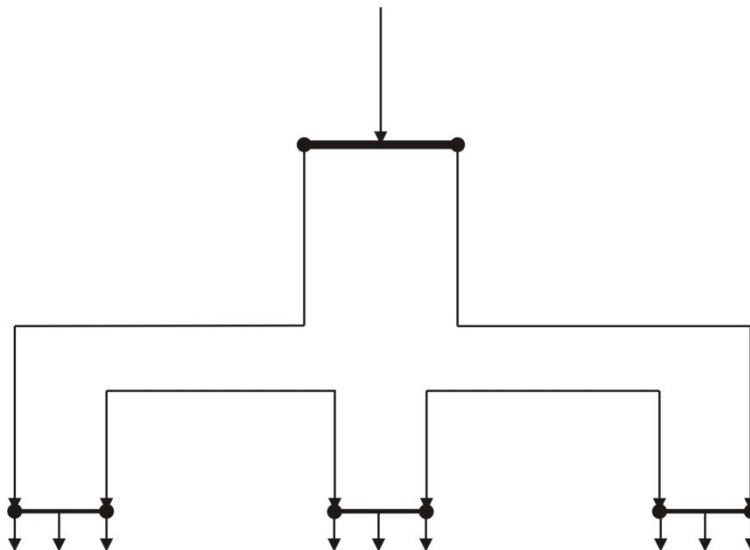
2.3.1 Paprskové sítě



Obr. č. 1 - paprsková síť

Je to ten nejlevnější a nejjednodušší způsob rozvodu energie, ale také ten nejméně spolehlivý. Při poruše dojde k výpadku ve zbytku větve a je proto nutné závadu co nejrychleji opravit. Používají se hlavně na vesnicích a v malých městech, tedy rozvod NN.

2.3.2 Okružní sítě

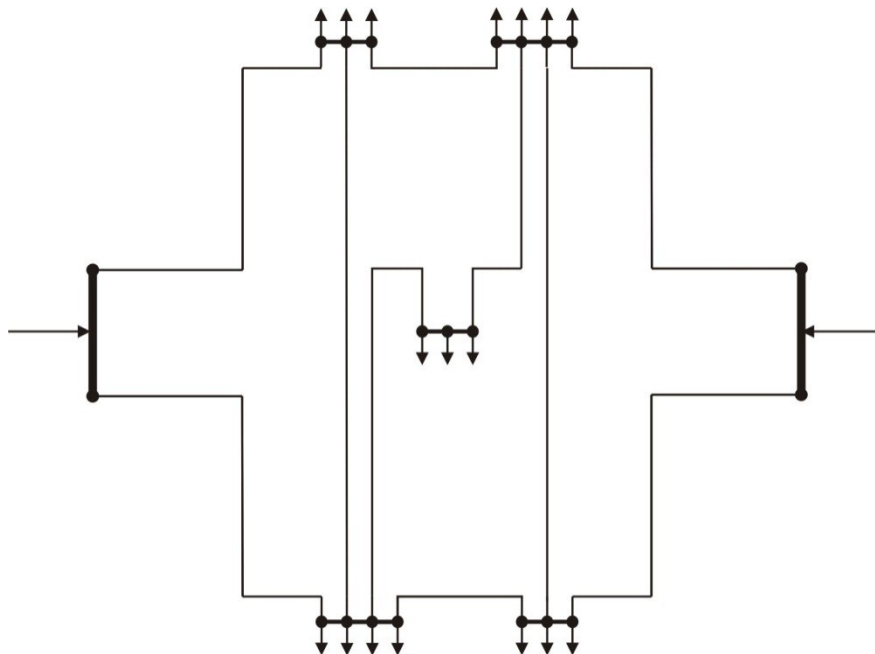


Obr. č. 2 - okružní síť

Jsou cenově dražší než paprskové, ale díky možnosti napájení odběrného místa ze dvou stran jsou podstatně spolehlivější a proto vhodné k napájení spotřebičů s větší náročností na spolehlivost dodávky elektrické energie. Používají se napětových hladin NN, VN a VVN.

2.3.3 Mřížové sítě

Jsou nejdražší variantou konfigurace sítě, tato nevýhoda je kompenzována vysokou spolehlivostí a množstvím alternativ provozu díky tomu, že jsou stavěny kabely stejného průřezu. To má i nevýhodu v tom, že průřez není využit hospodárně. Tyto sítě jsou tvořeny aspoň dvěma napájecími body (transformátory nebo rozvaděči), které napájí větší množství podružných rozvaděčů a přípojníc, které jsou mezi sebou propojeny jedním a více paprsky. Celá síť je selektivně jištěna, díky tomuto se při poruše odpojí jen postižený úsek. Tento druh sítě může pokrývat velké plochy s četnými odběry. Používají se u složitých průmyslových instalací a také u husté městské zástavby.



Obr. č. 3 - mřížová síť

Další kombinací výše uvedených konfigurací sítě můžeme ovlivnit vlastnosti rozvodu, zejména spolehlivost dodávky elektrické energie.

2.4 Spolehlivost [1]

V dnešní elektroenergetice velice důležitá oblast. Hlavně díky většímu podílu zelených zdrojů energie, které samy o sobě mají kolísavý výkon a nejsou tak spolehlivé jako tradiční zdroje. Její výzkum zahrnuje oblast výroby, přenosu, rozvodu, ale i spotřeby elektrické energie.

Spolehlivost elektroenergetické soustavy je chápána jako schopnost této soustavy zajistit nepřetržitou a kvalitní dodávku elektrické energie spotřebitelům. Obvykle je chápána ve třech hlavních oblastech.

- Spolehlivost jednotlivých částí sítí v období tvorby projektové dokumentace.
 - řešením matematických modelů lze určit spolehlivost projektovaného řešení. Výsledky tohoto řešení musí alespoň dosahovat požadované úrovně předepsaných hodnot
- Spolehlivost již provozovaných sítí
 - znalost ukazatelů spolehlivosti sítě až do prvků sítě umožní optimalizaci revizí, údržby a modernizace zařízení s cílem zlepšit spolehlivost jednotlivých prvků i celého systému. Dále je nutno sledovat trend v jednotlivých letech a porovnat ho s množstvím vynaložených prostředků
- Spolehlivost v případě provozu elektroenergetického systému
 - posuzování provozní spolehlivosti z dispečerského hlediska.

Dnešní rozvodné akciové společnosti plně zodpovídají za kvalitní dodávku elektrické energie. S tím vzrůstá význam tzv. nedodané energie a její ocenění. Její výpočet je možný pouze z výsledku spolehlivosti.

Spolehlivost se počítá různými metodami, které řeší spolehlivost při známé spolehlivosti jednotlivých prvků systému. Je řešena v ustáleném stavu nezávisle na čase nebo jako časová funkce. V této práci nás bude nejvíce zajímat určitá metoda výpočtu spolehlivosti a její důsledky.

2.4.1 Metoda spolehlivostních schémat

Základním principem je sestavení spolehlivostního schématu, přiřazení příslušných spolehlivostních veličin k jednotlivým prvkům a následné zjednodušování až na jeden prvek, jehož spolehlivostní parametry jsou výsledné parametry celého systému, který byl namodelován. Spolehlivostní schémata mají ve většině případů úplně jinou konfiguraci než schémata elektrická.

Výhody:

- studované systémy nemusí reálně existovat
- postup řešení je přehledný a matematicky nenáročný
- nevyžaduje iterační výpočet
- přesnost je závislá jen na přesnosti vstupních parametrů výpočtu

Nevýhody:

- nelze provádět výkonovou bilanci
- křížovanky typu "T" lze modelovat jen přibližně

Při výpočtu je nutné znát pravidlo o násobení pravděpodobností.

$$P(A, B) = P(A) \cdot P(B) \quad (8)$$

$P(A)$ – pravděpodobnost výskytu jevu A

$P(B)$ – pravděpodobnost výskytu jevu B

Z této metody je třeba popsát

2.4.1.1 Sériový systém



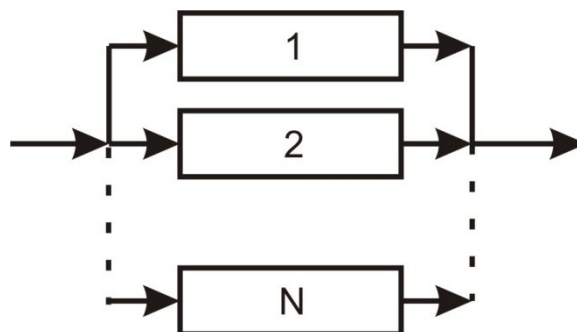
Obr. č. 4 - systém se sériovým zapojením n prvků

- pokud systém funguje správně, pouze v případě, že všechny jeho prvky jsou v bezporuchovém stavu, odpovídá tomu v pravděpodobnostním modelu sériové spojení prvků. Tímto modelem se řeší spolehlivostní vlastnosti jednotek a systémů, u nichž porucha jediného prvku vede k poruše celého systému.

Pro pravděpodobnost bezporuchového chodu platí:

$$R_V = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{i=1}^n R_i \quad (9)$$

2.4.1.2 Paralelní systém



Obr. č. 5 - systém s paralelním zapojením n prvků

- systém složený z n prvků, které pracují funkčně stejně a při poruše jednoho, přebírá jeho funkci druhý prvek atd. Je to tedy jednoduchá forma zálohování.

Za předpokladu bezporuchového chodu pro pravděpodobnost poruchy platí:

$$Q_V = Q_1 \cdot Q_2 \cdot \dots \cdot Q_n = \prod_{i=1}^n Q_i \quad (10)$$

Pro výslednou hodnotu pravděpodobnosti bezporuchového chodu pak platí:

$$R_V = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i \quad (11)$$

Pro další vyjádření spolehlivosti je třeba znát následující prvky:

Název	Značka	Jednotka
intenzita poruch	λ	rok^{-1}
střední doba trvání poruchy	τ	h
pravděpodobnost bezporuchového stavu	R	-
pravděpodobnost poruchy	Q	-
střední doba mezi poruchami	t_s	h

Tab. č. 3 - nejběžnější prvky pro vyjádření spolehlivosti

V tomto místě netřeba důkladně prostudovat paralelní zapojení prvků - horká rezerva a studená rezerva. Tato metodika výpočtu spolehlivosti vychází ze směrnice ČEZ 22/80

2.4.1.2.1 Paralelní zapojení prvků – horká rezerva

- je to v podstatě klasické paralelní zapojení dvou prvků. V případě poruchy jednoho prvku, jeho funkci automaticky přebírá druhý prvek.

Pro intenzitu poruch a střední dobu poruchy platí:

$$\lambda_{pp} = \frac{1}{8760} \cdot [\lambda_{U1} \cdot \lambda_{P2} \cdot \tau_{U1} + \lambda_{U2} \cdot \lambda_{P1} \cdot \tau_{U2} + \lambda_{P1} \cdot \lambda_{P2} \cdot (\tau_{P1} + \tau_{P2})] \quad [\text{rok}^{-1}] \quad (12)$$

$$\tau_{pp} = \frac{1}{8760 \cdot \lambda_{pp}} \cdot \left(\lambda_{U1} \cdot \lambda_{P2} \cdot \tau_{U1} \cdot \frac{\tau_{U1} \cdot \tau_{P2}}{\tau_{U1} + \tau_{P2}} + \lambda_{U2} \cdot \lambda_{P1} \cdot \tau_{U2} \cdot \frac{\tau_{U2} \cdot \tau_{P1}}{\tau_{U2} + \tau_{P1}} + \lambda_{P1} \cdot \lambda_{P2} \cdot \tau_{P1} \cdot \tau_{P2} \right) [\text{h}] \quad (13)$$

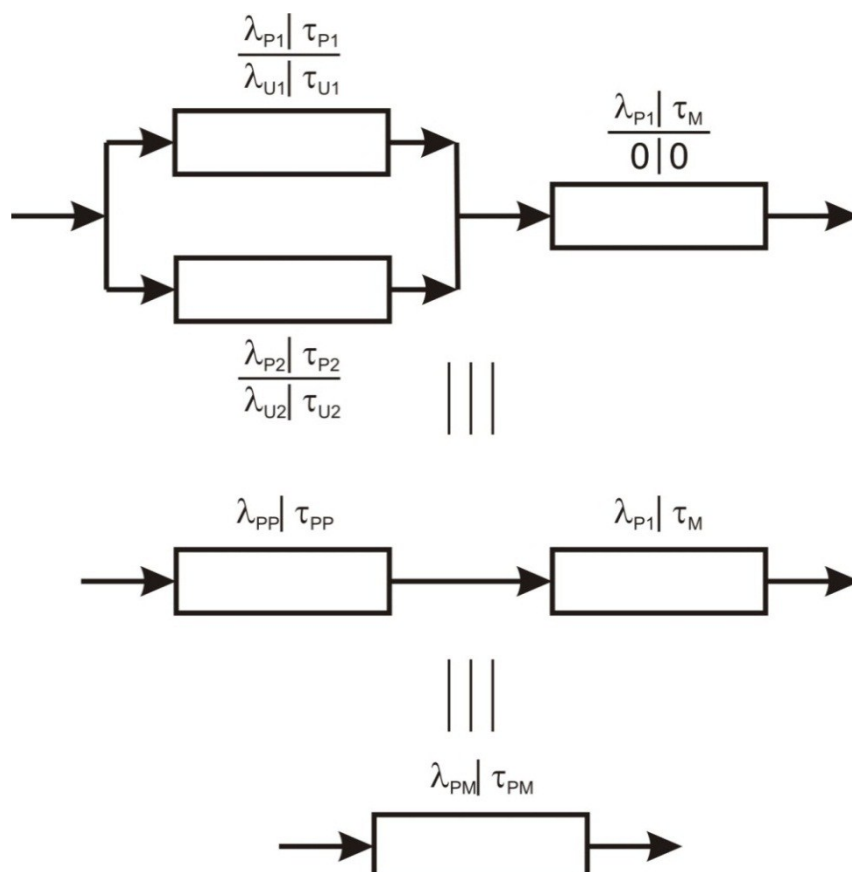
kde :

- λ_p – intenzita poruch
- λ_U – intenzita údržby
- τ_p – délka trvání poruchy
- τ_U – délka trvání údržby

Poznámka: při tomto zapojení nemůže nastat údržbový prostoj, protože při poruše jednoho prvku, nebude zahájena údržba druhého prvku

2.4.1.2.2 Paralelní zapojení prvků – studená rezerva

- při tomto zapojení se porucha elementů projeví okamžitě po jejich vzniku. Dále se předpokládá, že přepínač je absolutně spolehlivý, indikace spolehlivá a při přepnutí nebudou vznikat žádné přechodové stavy narušující správný chod systému
- do tohoto výpočtu musí být zahrnut tzv. manipulační čas, který vychází z úvahy, že při poruše prvku 1 se po manipulaci uvede do provozu prvek 2



Obr. č. 6 - schéma paralelního zapojení prvků – studená rezerva

Schéma je v podstatě zapojení horké rezervy, ke kterému je připojen sériový prvek s nulovými údržbovými parametry, za nichž se dosadí λ_{p1} a τ_M , což je manipulační čas. Doba přepínání je brána jako porucha na sériovém prvku. Střední doba poruchy je dobou manipulace.

Pro výsledné hodnoty platí:

$$\lambda_{PM} = \lambda_{PP} + \lambda_{p1} \quad [\text{rok}^{-1}] \quad (14)$$

$$\tau_{PM} = \frac{1}{\lambda_{PM}} \cdot (\lambda_{PP} \cdot \tau_{PP} + \lambda_{p1} \cdot \tau_M) \quad [\text{h}] \quad (15)$$

τ_{PM} - manipulační čas

Z toho lze usoudit, že čím menší je manipulační čas, tím větší je spolehlivost sítě.

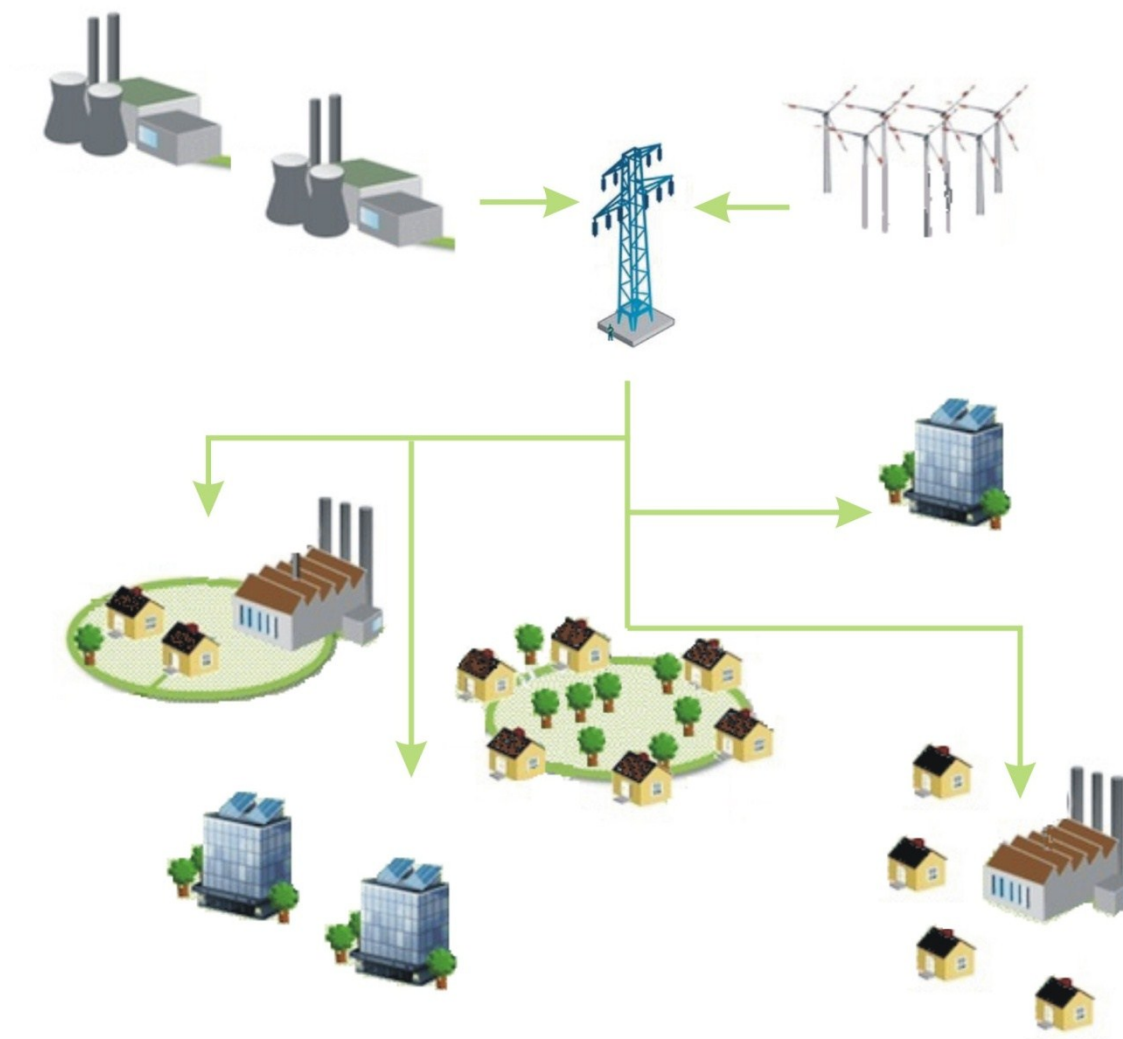
Technologie Smart Grids, pomocí online sběru dat o provozu sítě, mají možnost detekovat poruchy a podniknout patřičné kroky k tomu, aby porucha vůbec nenastala anebo ovlivnila co nejmenší úsek resp. co nejmenší počet odběratelů. Z toho vyplývá, že sítě Smart Grids zaručují vyšší spolehlivost.

3 Smart Grids

3.1 Úvod

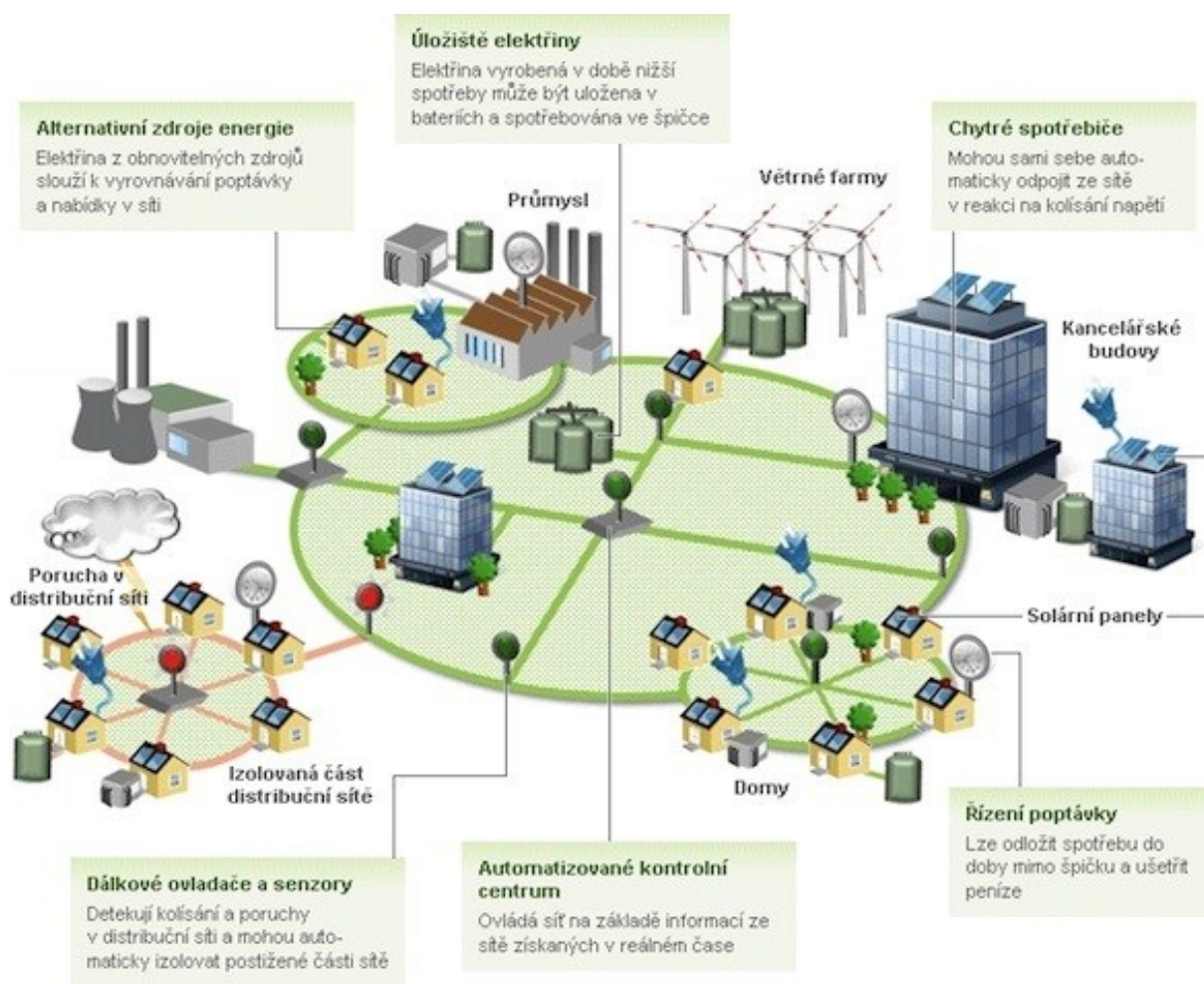
V posledních letech jsou Smart Grids, neboli „chytré sítě“ často diskutovaným tématem a jsou často spojovány s novou koncepcí využití el. Energie na distribuční popř. přenosové úrovni elektrizační soustavy. Smart Grids se zabývají širokou oblastí elektroenergetiky, od samotné výroby až po koncového zákazníka.

Stávající sítě jsou založeny na principu centrální výroby elektrické energie a její následné jednosměrné distribuce k zákazníkovi (elektrárna – přenosové sítě – distributor – zákazník).



Obr. č. 7 - schéma dnešní centralizované elektrizační soustavy

V dnešní době je poptávka po decentralizované výrobě el. energie, která je důsledkem rozmachu malých ekologických zdrojů (solární panely, malé vodní elektrárny, větrné elektrárny, atp.) a kogeneračních jednotek, které jsou instalovány rozptýleně po celé republice. Smart Grids umožní sledovat a řídit tok výkonu pomocí inteligentních měřidel, které budou nainstalovány po celé síti. [10]



Obr. č. 8 - schéma sítě Smart Grids [3]

Tato nová technologie umožní integrovat malé zdroje elektrické energie do ES a zároveň odstraní jejich typickou vlastnost a to nestabilitu výkonu, která může vést k vážným poruchám sítě. V konečném důsledku je to řešení i pro zákazníky, kteří stále více pocítují nárůst cen. Smart Grids jim umožní kontrolovat spotřebu elektrické energie. [3]

3.2 Historie

Dnešní střídavé sítě byly vyvinuty v roce 1896, založené na návrhu Nikoly Tesly publikovaném v roce 1888. Mnoho řešení, která se používají dodnes byla navržena za pomoci 120let staré technologie. Posledních 50let elektrické sítě neprošly žádnými velkými změnami. První pokusy o použití elektronických snímačů pro monitorování elektrické sítě se objevily už v roce 1980. Byl použit automatický snímač výkonu, který zaznamenával spotřebu v průběhu dne. Dnešní Smart Grid tento způsob vylepšil tím, že odečet hodnot ze snímače se děje v reálném čase. Termín “Smart Grids” je v povědomí veřejnosti od roku 2005, kdy v magazínu IEEE P&E byl otisknut článek “Towards a Smart Grid”, který napsali Massoud Amin a Bruce F. Wollenberg.

Existuje spousta definic Smart Gridu, některé s pohledem na funkční stránku jiné na technologickou nebo s ohledem na výhody respektive nevýhody. Společným prvkem všech těchto definic je aplikace moderních digitální a komunikačních technologií, umožňující sledovat a ovládat celou síť z jednoho centrálního bodu. [11]

3.3 Smart Grids v evropském kontextu

Významným impulsem v celoevropském měřítku je tzv. SET Plan (Strategic Energy Technology Plan) jehož cílem je do roku 2020 dosáhnout 20% podílu spotřeby energie z ekologických, tedy obnovitelných zdrojů, celé EU a také 20% snížení emisí CO₂. Česká Republika má za cíl dosáhnout 13% podílu hrubé spotřeby elektrické energie z obnovitelných zdrojů.

V rámci SET Planu vznikla Evropská průmyslová iniciativa pro chytré sítě (EEGI), která se zaměřuje na demonstrační projekty po celé EU. Cílem je otestovat jednotlivé funkční celky Sítí Smart Grids.

Počátkem roku 2000 v Itálii odstartoval projekt Telegestore, který zahrnoval až 27mil. Domácností používající Smart metry připojené pomocí úzkopásmového spojení. Dnešní projekty používají širokopásmové spojení nebo bezdrátovou technologii, která poskytuje kvalitnější spojení a možnost ovládat spotřebiče v domácnosti tak jako přídavné měření stavu vody a plynu.

Podobné projekty probíhají v USA, Kanadě, Německu a nově i v České republice. [10]

3.4 Popis

Smart Grids jsou inteligentní a automaticky se regulující sítě, schopné přenosu výkonu z velkého i malého zdroje až k zákazníkovi. Je to spojení několika nových technologií, od dálkových vypínačů, senzorů až po datové vysílače.

Smart Grids dodávají elektrickou energii od výrobce ke spotřebitelům prostřednictvím digitální technologie s obousměrnou kontrolou spotřebičů v domácnostech, a to pro úsporu energie, snížení nákladů a zvýšení spolehlivosti dodávek elektrické energie. A to tak, že uživatel nastaví svůj Smart meter tak, aby zapnul určité domácí spotřebiče, jako jsou pračky nebo i tovární procesy, v době, kdy je poptávka po výkonu nejmenší, tedy v noci nebo mimo špičku. Ve špičkách, kdy výkon je nejvíce potřeba budou tyto odběry odstaveny a tím se sníží poptávka. Takovéto modernizované elektrické sítě jsou podporovány mnoha státy jako způsob řešení problému energetické nezávislosti a otázky nouzové odolnosti.

Tento nový systém obsahuje inteligentní monitorovací systém, který eviduje veškerý proud elektrické energie do systému. Smart metry jsou součástí inteligentních sítí, ale samy o sobě nepředstavují inteligentní síť. To také zahrnuje použití supravodivých přenosových linek pro méně ztrátový výkon, stejně jako schopnost začlenění výkonu z obnovitelných zdrojů jako solární panely a větrné parky. [11]

3.4.1 Výhody Smart Grids

a) Ekologičtější energie

Smart Grids dokáže spojit využití obnovitelných zdrojů energie s energií konvenční, což zvýší celkovou čistotu energií a zároveň umožní soustavnější dodávku energie.

b) Přehled o spotřebě energie

Inteligentní měřidla umožní zákazníkovi průběžný přehled o spotřebě energie. V kombinaci s plánovanou širší nabídkou energetických tarifů to bude znamenat, že si zákazník bude moci sám lépe plánovat vlastní spotřebu energie.

c) Nižší intenzita poruch

Smart Grids reagují na přerušení dodávek energie a zajišťuje spolehlivější distribuci elektřiny. Výpadku elektřiny dokáže zabránit pomocí využití lokálního zdroje výroby energie.

d) Chytré domy budoucnosti a jejich rozvoj

V budoucnosti bude možné sledovat na dotykovém displeji údaje o spotřebě elektřiny, vody, plynu, dobíjení elektromobilu a plánovat topení, ohřev vody či spínání spotřebičů a bezpečnostních alarmů. [11]

3.4.2 Nevýhody Smart Grids

a) Vysoké investiční náklady

Bude zapotřebí nainstalovat velké množství smart metrů, zbudovat celou infrastrukturu datových center, skladovacích prostor pro přebytečnou elektrickou energii

b) Možnost selhání softwarové části – kybernetický útok

Je třeba se připravit na možnost selhání softwaru nebo snímacích senzorů, které jsou důležitou částí vyhodnocování provozního stavu sítě. Dalším závažným problémem je útok hackerů. Ovládací prvky bude třeba zajistit bezpečnostními prvky a automatickými ochranami, které zabrání kritickým selháním.[11]

3.5 Smart metering

Jak bylo již uvedeno výše, smart metering je jeden ze stěžejních principů celé technologie Smart Grids. Hlavním rysem této inovace je dálková, obousměrná komunikace mezi centrálou a měřidlem. To umožní nejen sbírat data z měření, ale i jejich automatické vyhodnocení. Kromě dokonalejšího řízení sítě lze tímto způsobem i snížit ztráty v době nedostatku výkonu. V neposlední řadě se tak rozšíří i nabídka produktů a služeb pro koncového zákazníka. Za předchůdce se dá považovat technologie AMR a AMM. [11]

AMR (Automated Meter Reading)

Automatické odečty, jednosměrná komunikace

AMM (Automatic Meter Management)

Obousměrná komunikace, rozšířená verze AMR, s přidáním funkce jako řízení tarifu, připojení/odpojení měřeného místa

3.6 Technické prostředky Smart Meteringu [11]

PLC (Power Line Communication)

Přenos dat po elektrické síti. PLC není v elektroenergetice nic nového, používá se již od 60. let. V dnešní době je spíše znám pojem HDO (=Hromadné Dálkové Ovládání). Nizká frekvence, kterou HDO používá, umožňuje přenášet jen jednoduché povely, ale lze jej použít na velké vzdálenosti. Lze použít i vyšší frekvence, čímž zvýšíme objem přenášených dat a tím i další možnosti ovládání sítě. Bohužel s vyššími frekvencemi se zkracuje přenosová vzdálenost.

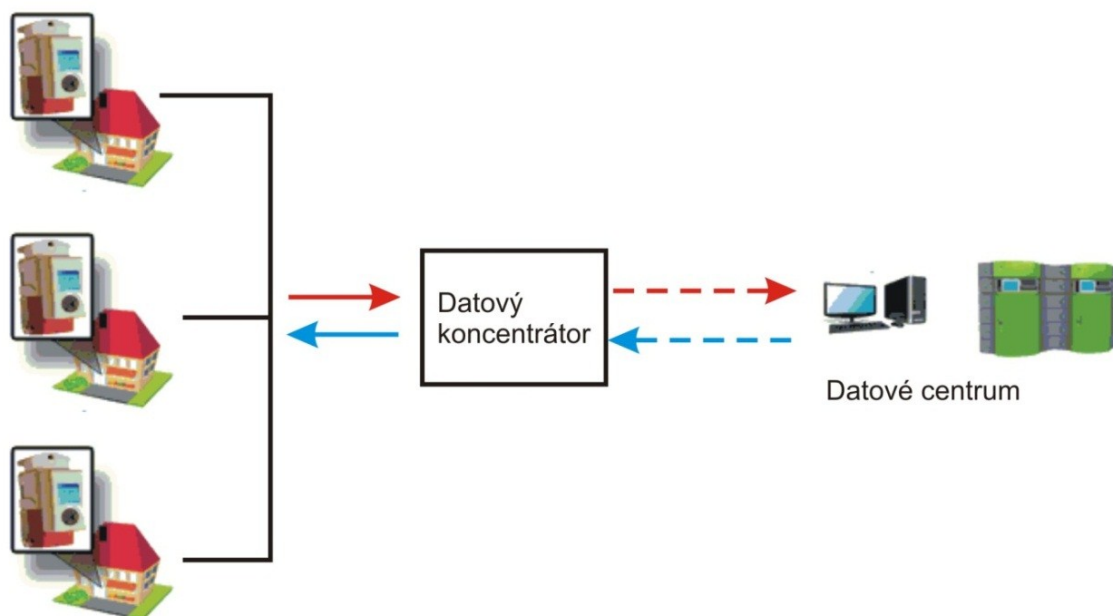
Rádio přenos

Bezdrátová komunikace za použití rádio frekvencí.

GPRS (General Packet Radio Service)

Přenos dat za použití mobilních technologií a satelitů. Velkou výhodou je vysoký objem přenášených dat.

Smart metry



Obr. 9. – příklad infrastruktury Smart Meteringu

Smart meter odešle data do koncentrátoru, což je zařízení, které přijímá data z většího počtu měřidel a poté odesílá nasbíraná data do datového centra, kde se vyhodnotí, principiálně se podobá multiplexeru. Princip funguje obousměrně, kdy je možné z datového centra odeslat příkaz do koncentrátoru, který jej dále pošle do určitého smart metru.

Funkce Smart Gridu

- a) Adaptace na různé způsoby výroby elektřiny
- b) Auto detekce poruch a jejich následné opravy
- c) Účast spotřebitelů
- d) Poskytnout větší kvalitu dodávky
- e) Podporovat rozvoj energetického trhu
- f) Pracovat více efektivně

Add a) Adaptace na různé způsoby výroby elektřiny

Smart Grids umožní připojit do distribuční sítě i další výrobní zdroje a umožní tak obousměrný tok výkonu – k zákazníkovi, ale i od něj. Do sítě budou přispívat nejen dnes běžné centrální elektrárny, ale navíc budou připojeny i menší, lokální či regionální zdroje jako jsou fotovoltaické elektrárny, větrné farmy, mikroturbíny a jiné podobné decentralizované zdroje elektrické energie. Toto umožní koncovým zákazníkům, jako jsou města, obce či průmyslové podniky, vyrábět elektrickou energii vlastními prostředky a její přebytky prodávat zpět do sítě. Předpokladem je obousměrný tok energie mezi distribučními sítěmi, ale i přenosovými.

Add b) Auto detekce poruch a jejich následné opravy

Pomocí informací v reálném čase poskytnutých vestavěnými senzory, může automatická jednotka předpovědět, detekovat a účinně reagovat na poruchy v síti. SG může automaticky odvrátit poruchu nebo zmírnit její dopad na stabilitu sítě v době špiček.

Add c) Účast spotřebitelů

SG se v podstatě snaží přimět spotřebitele, aby svým chováním a využíváním různých tarifů šetřili elektrickou energii v době, kdy jí je nejvíce potřeba, tedy ve špičce. SG integruje spotřebitelovo chování a lepší kontrolu nad jeho spotřebou pomocí “chytrých spotřebičů” a vybavení v domácnostech a továrnách. Komunikace v reálném čase poskytovaná SG uspoří spotřebitelům spoustu financí a tím je tak odměněn za to, že se snaží šetřit energií nebo ji prodávat zpět do sítě.

Add d) Poskytnout větší kvalitu dodávky

Problémy v dodávkách elektrické energie v době špiček a jiných problémů stojí spotřebitele spoustu peněz. Např. V USA tato částka dosahuje až 100mil.\$/ročně. SG by tyto ztráty mohl rapidně snížit.

Add e) Podporovat rozvoj energetického trhu

Výrazné zvýšení přenosové kapacity bude vyžadovat zlepšení řízení přenosové soustavy. Tato zlepšení jsou zaměřena na vytvoření otevřeného trhu, kde je možné využití alternativních zdrojů energie z geograficky vzdálených míst a tuto energii snadno prodávat zákazníkům, ať se nacházejí kdekoli. SG také umožní výrobcům vytvářet a prodávat elektřinu na místní úrovni, využíváním alternativních zdrojů, jako jsou střešní montáž fotovoltaických panelů, malé větrné turbíny, diesel generátory a malé vodní elektrárny. Bez dalších zásahů lidského dozoru, senzory a software budou navrženy tak, aby okamžitě reagovali na nerovnováhy způsobené přerušovanými zdroji.

Add f) Pracovat efektivněji

SG snižuje ztráty tím, že využívá levných zdrojů elektrické energie, kdy je to jen možné a dražších jen když je to nezbytně nutné. Tím se sníží cena vygenerované energie a tím zvýší úspory pro koncového zákazníka.

4 Popis pilotní oblasti Vrchlabí

Vrchlabí je město v Královéhradeckém kraji s více než 13 500 obyvateli. V dubnu roku 2010 Skupina ČEZ oznámila svůj záměr investovat zhruba 500 mil. Kč do dlouhodobého projektu Smart Region. Tento projekt vznikající v rámci iniciativy FUTURE/E/MOTION bude zavádět a testovat prvky technologie Smart Grids, zejména testování Smart Metrů, připojení různých druhů lokálních zdrojů elektrické energie a také i dobíjecích stanic pro elektromobily.

Tento mikroregion byl vybrán záměrně a to z několika důvodů. Jednak se jedná o malou lokalitu, která odpovídá velikostí a rozsahem pro záměr pilotního projektu. Navíc zde existují vhodné ekologické zdroje elektrické energie i prostor k instalaci několika dalších jednotek kombinované výroby elektřiny a tepla. Jelikož je tato lokalita v blízkosti CHKO nabízí se možnost otestovat koncept E-mobility, tedy využití elektromobilů a dobíjecích stanic. [6]

Jednotlivé etapy:

- Studie dynamického modelu sítě
 - Automatizované prvky pro Smart Grids
 - Ostrovní provoz ve Smart Regionu
- I. Studie dynamického modelu
- Tuto studii zajišťuje Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Dynamický model matematicky vypočítává možnosti chování distribuční soustavy na hladinách NN a VN. Umožňuje energetikům se připravit na výjimečné popř. poruchové stavy v síti, na funkci systému při budoucím připojení lokálních obnovitelných zdrojů. Dále je zde možnost sběru dat v určitých bodech sítě a vyhodnocování dat ze Smart metrů. Tato etapa bude trvat přibližně 20 měsíců. [9]
- II. Automatizované prvky pro Smart Grids
- Další etapu zajišťuje ČVUT ve spolupráci s poradenskou firmou Arthur D. Little. Tato studie má za úkol zpracovat katalog prvků pro Smart Grids, tedy seznam zařízení a přístrojů nutných k bezproblémovému řízení elektrizační soustavy konceptu Smart Grids a to včetně prvků ICT technologií a navržení jejich nejvhodnější implementace do projektu Smart Region. Součástí studie bude i srovnání těchto prvků s podobnými, které již byly použity v projektech v zahraničí. V této databázi bude možno vyhledávání dle různých kritérií.
- III. Ostrovní provoz ve Smart Regionu
- Studii s názvem „Ostrovní provoz ve Smart Regionu“ bude realizovat společnost EGE České Budějovice. Tato finální etapa řeší technický návrh pro vytvoření ostrovního režimu ve vrchlabské lokalitě Liščí Kopec. Při poruchách anebo v případě rozsáhlého výpadku můžeme díky ostrovnímu režimu udržovat stabilní provoz pomocí lokálních zdrojů elektrické energie. Výsledky této etapy budou nezbytným podkladem pro správnou konfiguraci sítě ve Smart Regionu. V tomto případě půjde jen o lokalitu Liščí Kopec a o to zda lze bez problému realizovat vydělení lokality z distribuční sítě.

Plánované fáze v pilotním projektu Smart Region Vrchlabí	Období
Studie výzkumu a vývoje	2010–2012
Implementace Smart Meters (chytrých elektroměrů)	2010–2011
Transformace distribuční sítě v regionu	2010–2015
Vybudování dobíjecích stanic pro elektromobily	2012–2013
Implementace nových automatizačních a monitorovacích prvků	2011–2014
Řídicí systém distribuční soustavy	2012–2015
Zapojení KVET a OZE zdrojů	2012–2015
Ostrovní provoz v lokalitě Liščí Kopec	2014

Tabulka č. 4 - časový harmonogram pilotního projektu Smart Region Vrchlabí [6]

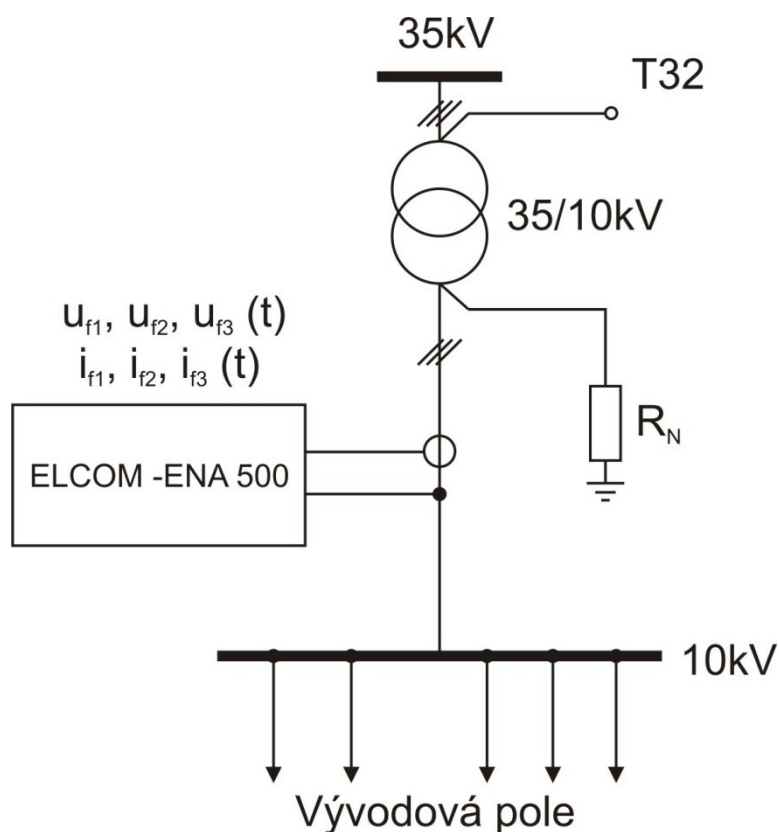
4.1 Smart Meters ve Smart Regionu

V tendru o dodávku AMM (Automatic Meter Management) technologií, zahrnující více než 40 000 kusů Smart Metrů, bylo vybráno konsorcium Hewlett Packard. Do roku 2011 budou tyto přístroje nainstalovány do domácností v celé oblasti. Implementace AMM technologie znamená položit základní kámen, na kterém se postupně začne stavět první testovací Smart Grid koncept v České Republice.

V první fázi proběhne testovací provoz ve specializované laboratoři. Poté dojde k instalaci AMM technologie na reálných odběrných místech ve třech vybraných oblastech distribuční soustavy. Během přípravné fáze i během samotné instalace budou uživatelé informováni o možnostech, které AMM technologie nabízí odběratelům elektrické energie a o benefitech, které přináší aktivní zapojení spotřebitelů do projektu. [7]

5 Analýza toku výkonu v části dané oblasti

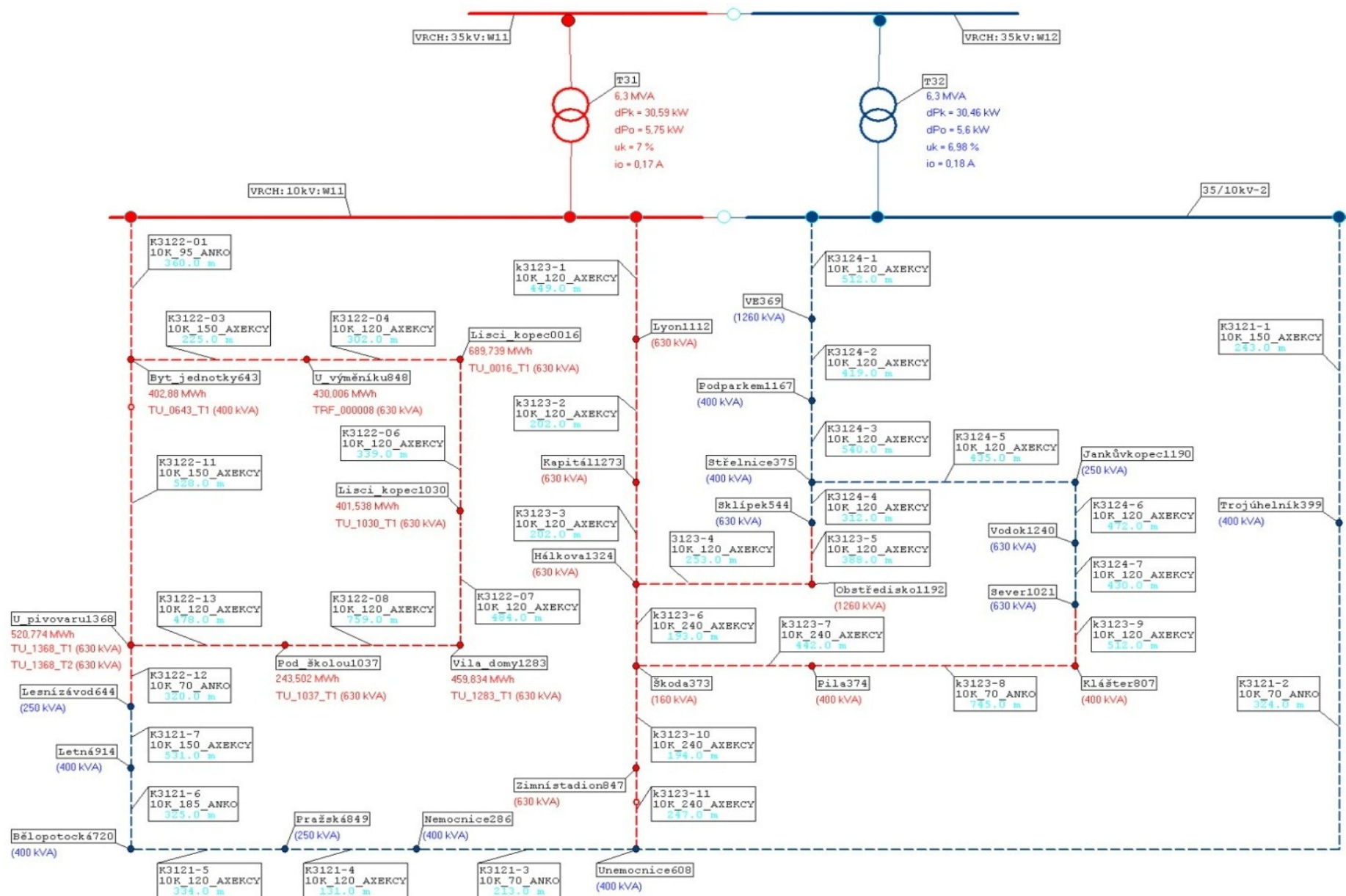
V následující části je analýza dat získaných dlouhodobým měřením v lokalitě Vrchlabí. Toto měření probíhalo v období od 3.8. 2010 do 9.9. 2010. Z tohoto intervalu jsem pro další analýzu vybral 30 dnů, tedy od 4.8. 2010 do 3.9. 2010. Měření probíhalo, pomocí síťového analyzátoru BK – ELCOM v provedení ENA 500, na sekundární straně transformátoru T32 - 35/10kV. Vzorkovací frekvence byla nastavena na 9600 vz/s a připojení vstupů $3 \times U_f + 3 \times I_f$ jedná se tedy o měření průběhů napětí a proudu ve všech třech fázích. Ze sekundární strany transformátoru T32 jsou napájeny transformátory, které dále napájí městské části Vrchlabí, to znamená, že složení odběratelů je z převážné části tvořeno bytovými jednotkami, rodinnými domky a administrativními budovami (sazby C02, D01, D02, D25, D45, D26). Nicméně je zde připojen i Výrobní závod Škoda Auto – Vrchlabí, který má třísměnný provoz a tedy a Minipivovar/restaurace Bašta.[12]



Tabulka č. 10 - Schématické znázornění zapojení přístroje BK – ELCOM ENA 500

Poznámka: při měření se vyskytlo několik anomálií, které byly zapříčiněny poruchou síťového analyzátoru ELCOM ENA 500. Např. v naměřených datech chybí interval z 13.8. na 14.8. 0:03:30, dále 14.8. chybí interval mezi 0:49:00 a 0:51:30. Jelikož chybějící data nejsou nijak velkého rozsahu, tak chybějící místa byla ve význačných bodech vyplněna nejbližší naměřenou hodnotou.

Následující obrázek ukazuje schéma sítě v lokalitě Vrchlabí. Jsou zde uvedeny bližší technické parametry transformátoru T31 a T32, na kterém probíhalo měření.



Obrázek č. 11 - Schéma sítě v lokalitě Vrchlabí

5.1 Měřicí systém BK ELCOM [12]

Uživatel elektřiny a distributor elektřiny na druhé straně často potřebují prostředky pro monitoring a analýzu el. energie, a s tím i její rušivých vlivů. V zásadě se jedná o soubor standardů, které definují projevy rušení, metody jejich měření a dále o přístroje umožňující měření (dlouhodobé) potřebných veličin s možností analýzy dat, s cílem rozhodnout zda jsou naměřené hodnoty v dovolených mezích s možností vytvoření protokolu z měření.

Měřicí systém sdružuje všechna měření rušivých vlivů v síti do jednoho přístroje – základním principem je časové měření napětí a proudů a jejich další zpracování podle platných standardů pro měření jednotlivých rušivých vlivů. [1]

- harmonické a mezipharmonické (ČSN EN 61000-4-7)
- kolísání napětí – flikr (ČSN EN 61000-4-15)
- kvalita elektřiny komplexně (ČSN EN 50160)

Neméně důležitou součástí celého systému je možnost prohlížení a vyhodnocení dat uložených v průběhu celého měření. Komfort použití a funkční rozsah přístroje často definuje užitnou hodnotu celého systému. Tato část systému zpravidla běží na počítači odděleném od systému měření.

Analyzátor BK – ELCOM vyhodnocuje všechny výše uvedené parametry. Bližší kritéria určuje norma EN 60150. Systém BK - ELCOM je založený na metodě virtuální instrumentace, což umožňuje flexibilně reagovat na měnící se požadavky koncových uživatelů a doplňovat do přístroje další moduly.

Koncepce analyzátoru je modulární – minimální sestavu tvoří hardware, příslušenství a volitelně jeden ze dvou modulů:

- FFT analyzátor
- Monitor výkonů a energií

Analyzátor lze však rozšířit o další moduly a získat tím tak přístroj pro komplexní analýzu el. energie: analyzátor harmonických a mezipharmonických

- monitor výkonů a energií
- osciloskop
- vektoroskop
- měřič blikání
- monitor napětí podle normy ČSN EN 50160
- transientní zapisovač
- analyzátor signálu HDO
- analyzátor symetrických složek sítě
- analyzátor impedance sítě
- monitor alarmů
- monitor efektivní hodnoty napětí za půlperiodu

5.1.1 Charakteristiky měřeného signálu

Norma určuje základní interval pro vyhodnocování dat $T_w = 10$ period měřeného signálu, pro frekvenci signálu 50Hz je $T_w = 200\text{ms}$. Analyzátor měří kontinuálně, tzn. bez přerušení.

Pro řadu parametrů jako je RMS hodnota napětí, nesymetrie napětí a harmonické je v souladu s normou ČSN EN 61000-4-30 deset period signálu pro síť se jmenovitou frekvencí 50Hz a dvanáct period pro síť se jmenovitou frekvencí 60Hz. Z těchto údajů vyplývá, že základní časové okno T_w je totožné pro 50Hz nebo 60Hz síť a je rovno 200ms. Také vzorkovací frekvence může být shodná. V analyzátoru sítě BK-ELCOM byl použit algoritmus, kde vzorkovací frekvence je 9600 vz/s, $N=1920$, počet vzorků na jednu periodu je 192.

Pro výpočet frekvenčního spektra je použit algoritmus DFT, což klade výrazně větší nároky na výkon použitého hardware, avšak výkon dnešní výpočetní techniky je dostatečný pro uvedené řešení.

Uvedený počet vzorků na periodu je konstantní i při změnách frekvence sítě, analyzátor sítě přizpůsobuje v takovém případě svou vzorkovací frekvenci dle požadavku normy ČSN EN 61000-4-7. Šířka okna $T_w = 0,2$ s je základním prvkem pro vyhodnocování dat analyzátoru BK-ELCOM. Vejde se do něj 10 period proudového nebo napěťového signálu při kmitočtu 50Hz a vyhodnocujeme z něj spektra harmonických (do padesáté harmonické, tj. do 2500Hz), dále frekvence sítě, základní elektrické veličiny jako výkony (činný, jalový, zdánlivý), RMS hodnoty a fázové posuvy napěťových a proudových signálů a s krokem rovným šířce okna se integrují i všechny měřené energie.

Norma ČSN EN 61000-4-30 zmiňuje tři další agregační intervaly, které jsou zavedeny pro zhuštění naměřených údajů:

- 150 period (3sekundy)
- 10 min
- 2 hodiny

5.1.2 Matematické vyjádření měřených veličin

efektivní hodnota napětí (TRUE RMS)
$$U_{\text{RMS}} = \frac{1}{1920} \sqrt{\sum_{n=1}^{1920} U_n^2} \quad [\text{V}] \quad (16)$$

efektivní hodnota proudu (TRUE RMS)
$$I_{\text{RMS}} = \frac{1}{1920} \sqrt{\sum_{n=1}^{1920} I_n^2} \quad [\text{A}] \quad (17)$$

zdánlivý výkon
$$S = U_{\text{RMS}} I_{\text{RMS}} \quad [\text{V} \cdot \text{A}] \quad (18)$$

činný výkon
$$P = \frac{1}{1920} \sum_{n=1}^{1920} U_n I_n \quad [\text{W}] \quad (19)$$

činitel výkonu
$$\lambda = \frac{P}{S} \quad [-] \quad (20)$$

jalový výkon
$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad [\text{var}] \quad (21)$$

činný výkon 1. harmonické
$$P = U_1 I_1 \cos(\varphi_{U1} - \varphi_{I1}) \quad [\text{W}] \quad (22)$$

jalový výkon 1. harmonické
$$Q = U_1 I_1 \sin(\varphi_{U1} - \varphi_{I1}) \quad [\text{var}] \quad (23)$$

účinník 1. harmonické
$$dPF, \cos \varphi = \cos(\varphi_{U1} - \varphi_{I1}) \quad [-] \quad (24)$$

celkový zdánlivý výkon
$$S_{U,V,W} = S_U + S_V + S_W \quad [\text{V} \cdot \text{A}] \quad (25)$$

celkový činný výkon
$$P_{U,V,W} = P_U + P_V + P_W \quad [\text{W}] \quad (26)$$

celkový jalový výkon
$$Q_{U,V,W} = Q_U + Q_V + Q_W \quad [\text{var}] \quad (27)$$

$$\text{celkový činný výkon 1.harmonické} \quad P_{1\text{ U,V,W}} = P_{1\text{U}} + P_{1\text{V}} + P_{1\text{W}} \quad [\text{W}] \quad (28)$$

$$\text{celkový jalový výkon 1.harmonické} \quad Q_{1\text{ U,V,W}} = Q_{1\text{U}} + Q_{1\text{V}} + Q_{1\text{W}} \quad [\text{var}] \quad (29)$$

$$\text{celkový činitel výkonu} \quad PF_{\text{U,V,W}}, \lambda = \frac{P_{\text{U,V,W}}}{S_{\text{U,V,W}}} \quad [-] \quad (30)$$

$$\text{celkový účinník 1. harmonické} \quad dPF_{\text{U,V,W}} = \cos \left(\arctg \left(\frac{Q_{1\text{ U,V,W}}}{P_{1\text{ U,V,W}}} \right) \right) \quad [-] \quad (31)$$

Veličina	Označení	Přesnost v [%] z měřeného rozsahu
Napětí	U	0,8
Proud	I	0,8
Činný výkon	P	1,6
Zdánlivý výkon	S	2,0
Harmonické	proudy	U_v 1,1
	napětí	I_v 1,1

Tabulka č. 5 - přesnosti jednotlivých veličin

5.1.3 Hardwarové podoby analyzátoru sítí BK-ELCOM

Analyzátor sítí BK ELCOM, který se dodává v několika modifikacích, které jsou určeny buď pro přenosné, nebo stacionární aplikace v rámci distribuovaných systémů monitoringu a analýzy kvality elektrické energie.

Všechna provedení obsahují výkonný personální počítač. Minimalizace rozměrů základní jednotky (31x36x6cm) a nízká hmotnost (5kg) umožňují snadný transport, a uzavření základní části do rozvaděče při dlouhodobých měřeních (krytí 65).

Hlavním znakem je oddělení základní části od periferie pro konfiguraci přístroje a vyhodnocování dat. Komunikační rozhraní je standardně provedeno pomocí USB, Ethernet a sériovým rozhraním RS – 232. Velká kapacita umístěna v napájecím zdroji je schopná překlenout výpadek napájecího napětí po dobu až 3s.



Obrázek č. 12 - Komplexní analyzátor sítí BK ELCOM v provedení PNA 600

Alternativou k popsanému systému je provedení ENA 500. V mechanicky odolném pouzdře se skrývá výkonný personální počítač, měřicí karta a obvody pro úpravu měřených signálů.

Tato alternativa má výhodu ve větším počtu měřících kanálů:

- 4x napěťový kanál
- 8x proudový kanál

Vstupní rozsahy proudových kanálů jsou dány připojením proudových kleští s napěťovým výstupem nebo kleští Ampflex, pro které jsou v analyzátoru zabudovány zesilovače jejich výstupního signálu. Přesnost je lepší než $\pm 0,1\%$ s kleštěmi MN71.



Obrázek č. 13 - Komplexní analyzátor sítí BK ELCOM v provedení ENA 500

Vizualizační a konfigurační jednotku zastává standardní notebook, na kterém běží modul pro správu analyzátoru, který umožňuje zastavovat, spouštět měření, prohlížení a stahování dat.

Komunikační cestu mezi analyzátozem a notebookem může tvořit lokální počítačová síť, telefonní linka. Na vzdálenost několika desítek metrů lze použít komunikaci pomocí technologie WiFi.

Pomocí vizualizačního programu BK-Report, který je určen pro analýzu a zpracování naměřených dat analyzátozem BK, byla data importována a dále zpracována. Požadavek byl kladen na měsíční a denní průběh celkových výkonů (činný, jalový, zdánlivý). Importovány byly střední hodnoty veličin: $S, P, Q, U_{1-3}, I_{1-3}, \cos \varphi_{1-3}$.

6 Analýza DDZ v dané oblasti

V předchozí kapitole jsem analyzoval data z dlouhodobého měření. Z těchto dat jsem následně vytvořil diagramy týdenního a denního zatížení. Dále jsem sledoval vliv různých dnů v týdnu na průběh zatížení a to zejména pro sobotu, neděli a pondělí. Všechny diagramy jsem porovnával s typovými diagramy dodávky přepočtenými na klimatické podmínky v daný den.

Nejdříve je, ale třeba uvést teoretický aparát, který jsem využil k analýze. Jedná se zejména o teorii diagramů zatížení a metodiku typových diagramů zatížených.

6.1 Diagram zatížení [2]

Diagram zatížení zobrazuje časovou závislost zatížení dané části elektrizační soustavy, a to za určité období. Zpravidla rozlišujeme diagramy zatížení na denní, týdenní, měsíční, roční.

Charakteristické hodnoty diagramů zatížení.

Zatížení:

P [kW, MW]

- výkon, se kterým dané zařízení pracuje (výroba, přenos a odběr). Grafickým zobrazením dostaneme diagram zatížení pro určitý časový interval.

Celková energie

W [kWh, MWh]

- množství energie, s níž zařízení pracuje. Množství energie je úměrné ploše diagramu

$$W = \int_0^T P(t) \cdot dt = P_{stř} \cdot T = P_{MAX} \cdot \tau \quad (32)$$

$P_{stř}$...střední výkon

Tdoba provozu (záleží na typu diagramu – den, týden, měsíc)

τ_p ...doba využití maxima

Maximální zatížení

P_{MAX} [kW, MW]

je skutečné maximální zatížení za sledované období. Obvykle se určuje nejvyšší okamžitou hodnotou, nebo 15 minutovým průměrem. Vždy je potřeba uvést délku časového období.

Střední zatížení

P_{str} [kW, MW]

je průměrný výkon ve sledovaném období. Při tomto zatížení by se za sledované období dosáhlo stejné práce jako při proměnném zatížení podle diagramu zatížení.

$$P_{str} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) \cdot dt \quad (33)$$

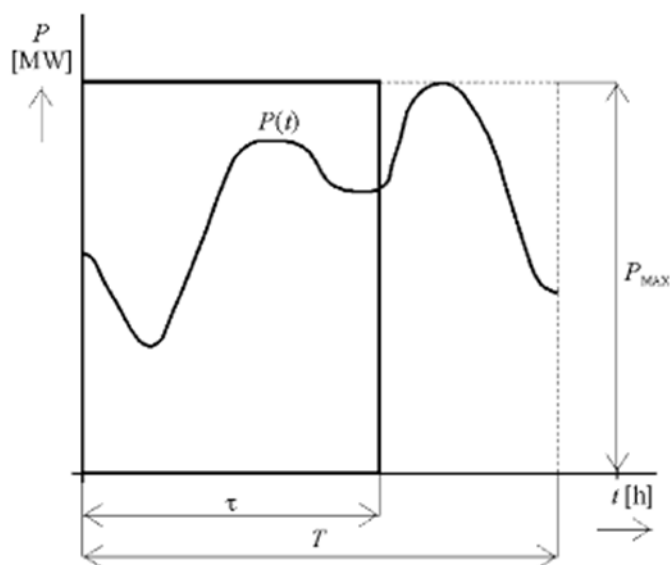
Minimální zatížení

je to skutečné minimální zatížení za sledované období. Obvykle se určuje nejmenší okamžitou hodnotou, nebo 15 minutovým průměrem. Vždy je potřeba uvést délku časového období.

Doba využití maxima

je to čas, za který bychom při odebírání maximálního výkonu P_{\max} odebrali stejnou energii, jako při časově proměnném zatížení.

$$\tau = \frac{1}{P_{\max}} \int_0^T P(t) \cdot dt \quad (34)$$



Obrázek č. 14 - znázornění doby využití maxima v DDZ

Doba plných ztrát

je čas, za který ve sledovaném období odebíraný proud způsobí stejné ztráty jako časově proměnný proud ve sledovaném období

$$\tau_z = \frac{1}{P_{\max}^2} \int_0^T P^2(t) \cdot dt \quad [-] \quad (35)$$

Náročnost

je to poměr maximálního příkonu k instalovanému příkonu

$$\beta = \frac{P_{\max}}{P_i} \quad [-] \quad (36)$$

Soudobost

ukazuje vliv nesoudobosti maxima různých připojených zařízení. Výsledné maximum je menší než součet maxim jednotlivých zařízení.

$$\delta = \frac{P_{C \max}}{\sum P_{N \max}} \quad [-] \quad (37)$$

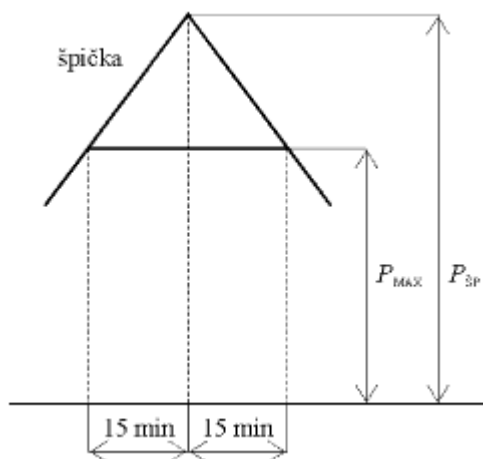
Zatěžovatel

je poměr středního výkonu k maximálnímu. Čím víc se blíží jedničce, tím hospodárněji pracují elektrárny.

$$Z = \frac{P_s \cdot \tau}{W} \quad [-] \quad (38)$$

Špičkový výkon

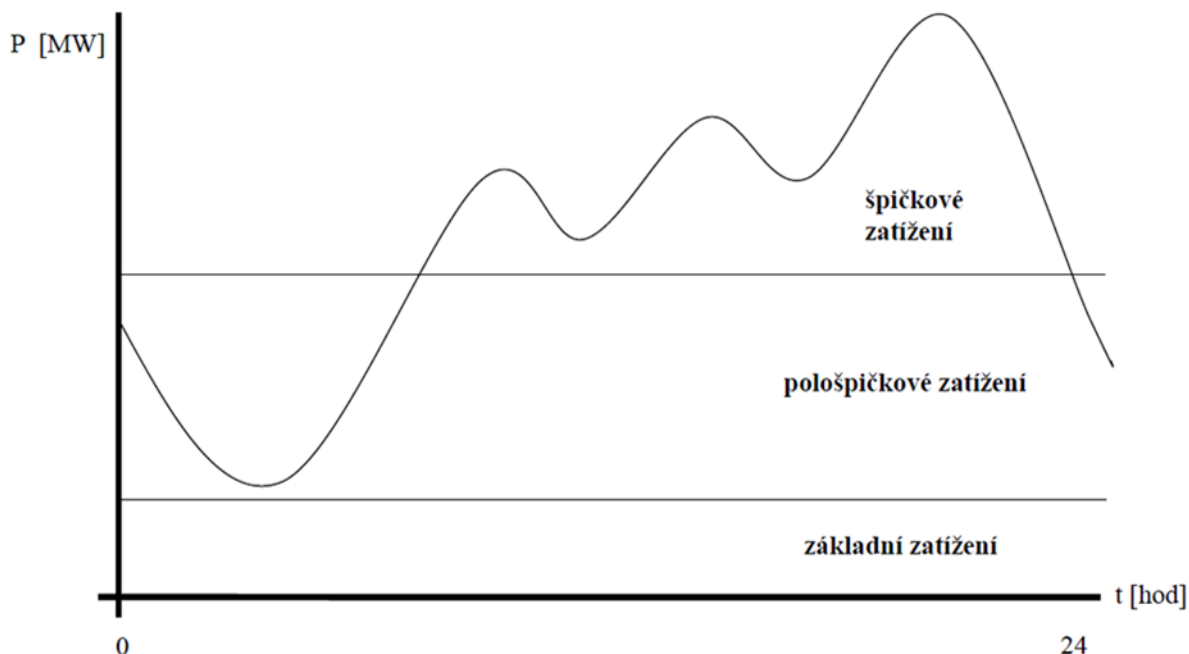
největší okamžitý výkon, je krátkodobý a lze jej v provozu připustit



Obrázek č. 15 - Znázornění špičkového výkonu

Diagram zatížení lze rozdělit na tři oblasti:

- základní zatížení
- pološpičkové zatížení
- špičkové zatížení



Obrázek č. 16 - příklad denního diagramu

Základní zatížení

je to oblast diagramu zatížení vymezena nulou a minimálním výkonem (příkonem). Je to takové zatížení, jehož hodnota se během dne nemění. Tato oblast je dotována elektrárnami, které pracují nepřetržitě, tedy ty, u nich nelze zajistit rychlé najíždění a odstavení, a mají špatnou (malou nebo pomalou) regulaci výkonu. Z těchto důvodů pracují do této oblasti elektrárny jaderné, vodní průtočné, a některé uhelné.

Pološpičkové zatížení

je to oblast mezi základním a špičkovým zatížením. Pracují zde především klasické elektrárny (uhelné, spalovací) a vodní elektrárny průtočné.

Špičkové zatížení

je to oblast vymezená maximálním výkonem. Do této oblasti pracují především elektrárny, které lze snadno a rychle regulovat z důvodu schopnosti pokrýt okamžité výkonové špičky. Jde tedy především o vodní přečerpávací elektrárny.

6.2 Typové diagramy zatížení

Tyto diagramy vytváří společnost OTE a.s. (Operátor Trhu s Elektřinou). Nejdříve se vytvoří normalizované diagramy zatížení pro celou ČR a jednotlivé lokality. Tyto diagramy sledují odběr činného výkonu v čase. Výkon z těchto diagramů se podělí jeho maximální hodnotou za měřený úsek a vznikne tak diagram, který nabývá hodnot od 0 do 1. To nám vyhovuje, protože tento pak můžeme jednoduše porovnávat s diagramy libovolných odběrů, protože nám nejde o přesné hodnoty, ale o tvar křivky. Normalizované TDD se následně přepočtou dle klimatických podmínek daného dne v roce a tím získáme přepočtené TDD. Diagramy jsou rozděleny na 8 typů, které popisuje následující tabulka:

Subjekt	Popis odběru	TDD _p č.
Podnikatel	bez tepelného využití elektřiny	1
	s akumulacním spotřebičem	2
	s hybridním vytápěním	2
	s přímotopným systémem vytápění	3
	s tepelným čerpadlem	3
	pro veřejné osvětlení	8
Domácnost	bez tepelného využití elektřiny	4
	s akumulacním spotřebičem	5
	s hybridním vytápěním	6
	s přímotopným systémem vytápění	7
	s tepelným čerpadlem	7

Tabulka č. 6 - rozdělení TDD_p dle typu subjektu a odběru [13]

Poznámka:

Odběr s přímotopným systémem vytápění a odběr s tepelným čerpadlem, pro subjekt domácnost i podnikatel jsou v TDD zastoupeny jednou křivkou. Odběr s akumulacním spotřebičem a odběr s hybridním vytápěním pro subjekt podnikatel jsou v taktéž zastoupeny jednou křivkou.

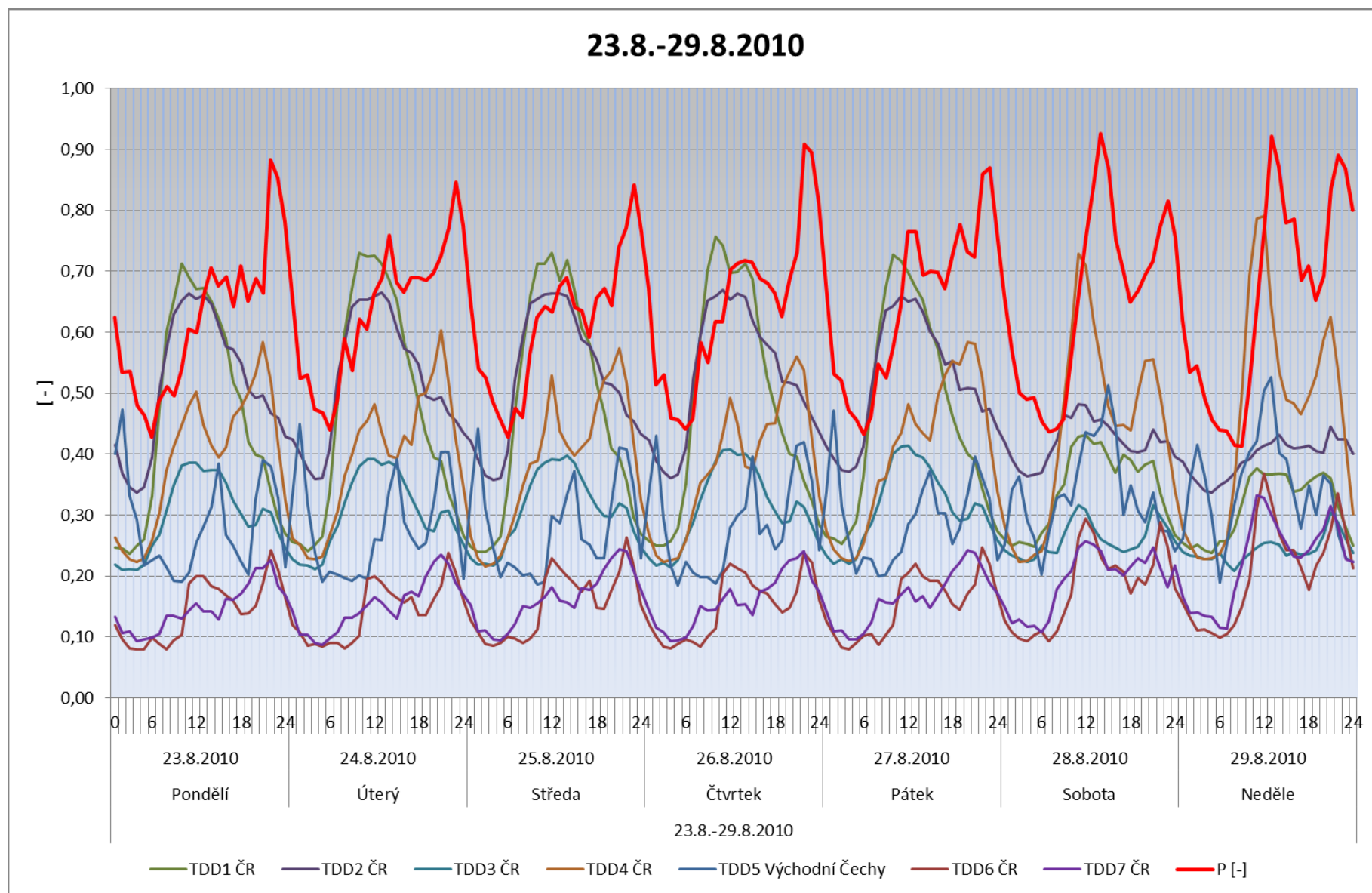
Odběr č. 5 se dále dělí dle lokality

TDD _p	Lokalita
č. 5	Jižní Čechy
	Jižní Morava
	Praha
	Severní Čechy
	Severní Morava
	Střední Čechy
	Východní Čechy
	Západní Čechy

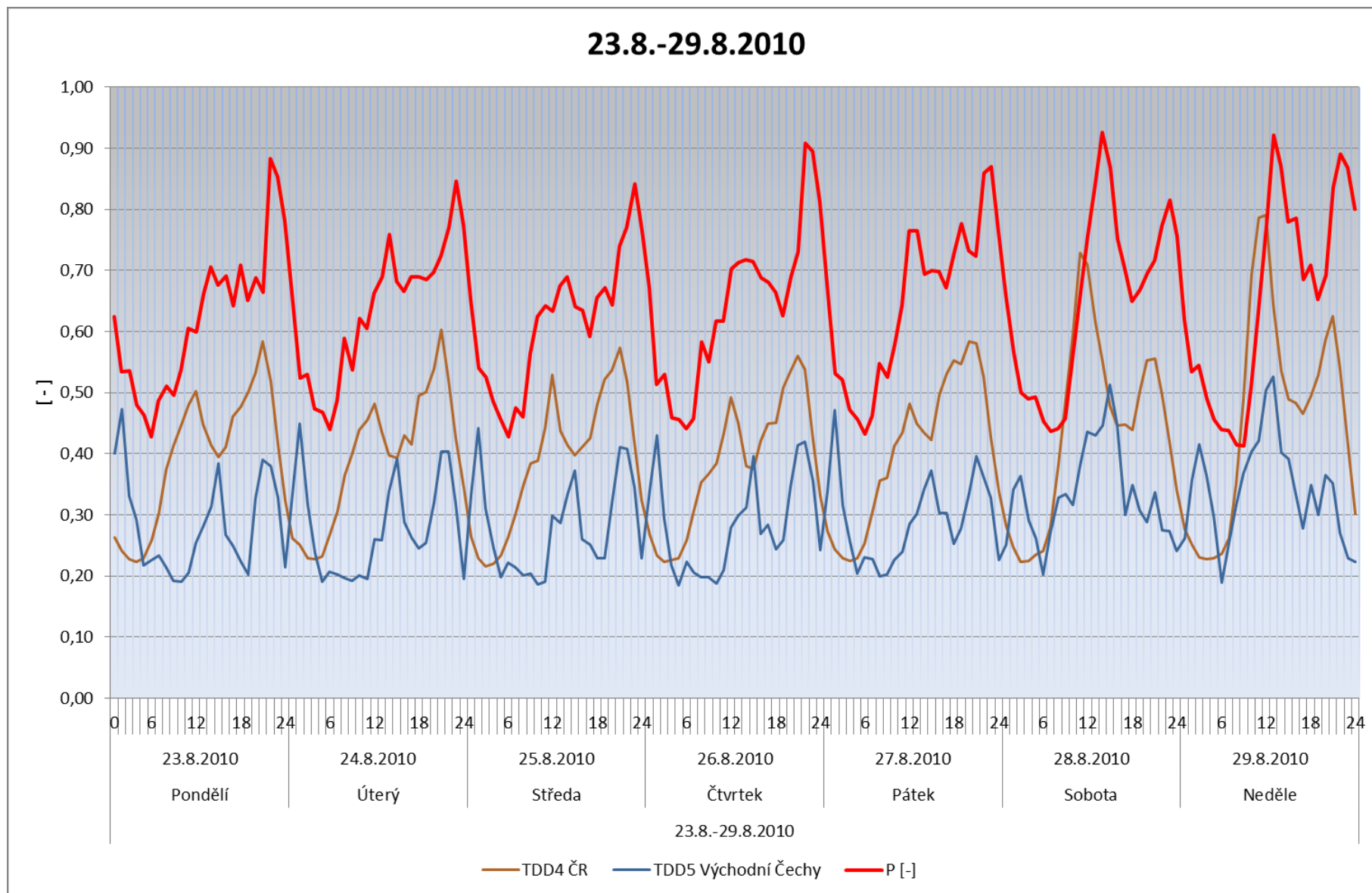
Tabulka č. 7 - rozdělení TDD_p č. 5 dle lokality [13]

6.3 Aplikace metodiky TDD_p

Do diagramů jsem vynesl průběh činného výkonu P a TDD_p 1, 2, 3, 4, 5 – Východní Čechy, 6 a 7 pro interval od 23.8. 2010 do 29.8. 2010, protože křivka zatížení se v tomto intervalu nejvíce blížila TDD_p křivkám. Tyto průběhy ukazuje graf č. 1. Protože vynesení všech TDD_p do jednoho grafu je nepřehledné, vynesl jsem na další graf průběh výkonu P a křivku TDD 4 ČR a TDD č. 5 – Východní Čechy. Pro analýzu vlivu soboty, neděle a pondělí na průběh zatížení denního diagramu jsem vybral interval od 28.8. 2010 do 30.8. 2010



Graf č. 1 - porovnání průběhu výkonu P s průběhy TDD_P č. 1-7 (viz legenda)



Graf č. 2 - porovnání průběhu výkonu P s průběhy TDD_P č. 4 ČR a TDD_P č. 5 – Východní Čechy (viz legenda)

Z grafu č. 2 lze vidět, že k naměřeným hodnotám se blíží více průběh TDD_p č. 4 ČR než průběh TDD_p č.5-Východní Čechy a proto v další analýze budu brát v úvahu pouze TDD_p č. 4 ČR.

I přes velkou podobnost tvaru křivek, Nicméně nelze tyto dvě křivky prohlásit za shodné. Důvodem odchylky může být nehomogenost odběrů připojených na transformátor T32 a to zejména závod Škoda Auto – Vrchlabí. Jedná se zejména o odchylku kolem 22:00 hodiny, kdy dle TDD_p začíná klesat odběr, ale u naměřených stoupá, protože začíná noční směna. Tato odchylka se vyskytuje každý den v týdnu, jelikož v závodě se pracuje na třísměnný provoz.

Poznámka: porovnání naměřených dat s křivkami TDD_p pro další týdny z celkového měřeného intervalu, lze nalézt v přílohách.

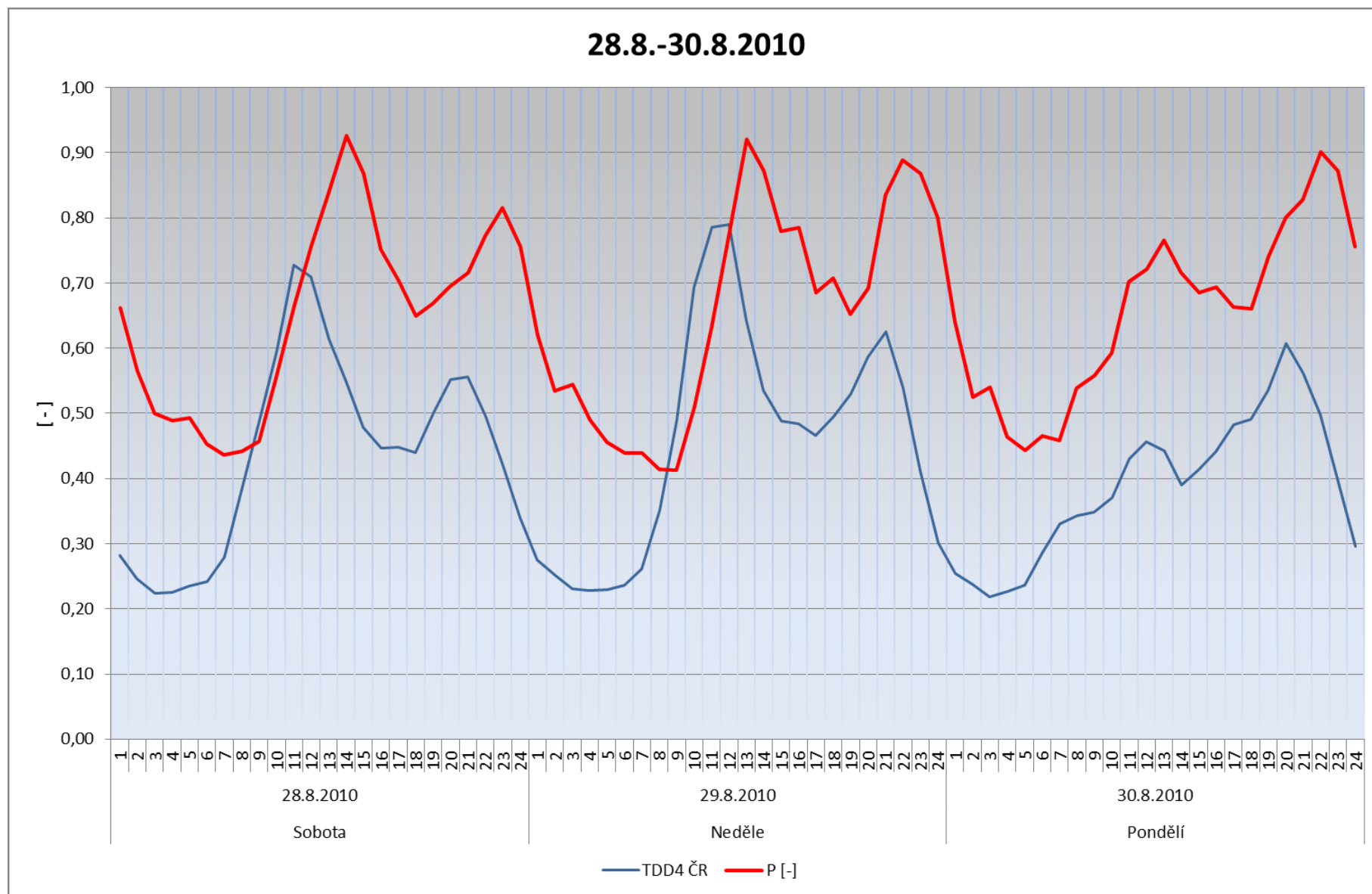
6.4 Analýza vlivu soboty, neděle a pondělí na průběh zatížení

Pro tuto analýzu jsem vybral interval od 28.8. 2010 do 30.8. 2010.

Pro názornost jsem do grafu vynesl i křivku TDD_p č. 4, tedy odběr s pro domácnost bez tepelného užití elektrické energie. Z grafu č. 2 můžeme prohlásit, že naměřené hodnoty jsou tvarem křivky podobné tvaru křivek TDD_p, nicméně maxima a minima jsou posunuta. Nejvíce to lze vidět u 14:00 a 22:00, tedy při začátku odpolední a noční směny v závodě Škoda Auto – Vrchlabí.

Dále je patrný rozdíl v zatížení mezi víkendovými dny a pondělím resp. pracovní dny a to zejména v dopoledních hodinách. Tento rozdíl ukazuje graf č. 3. O Víkendu dopoledne jsou obyvatelé doma a uklízí/vaří, atd... – růst spotřeby elektrické energie. Zatímco v pondělí jdou do práce/školy, atd.. – pokles spotřeby elektrické energie. Zatížení ve večerních hodinách je největší v pondělí nicméně oproti sobotě a neděli tento rozdíl není větší než 10% celkového zatížení.

Průběhy zatížení v Sobotu, Neděli a pondělí v celém měřeném úseku, tedy 4.8. – 3.9. 2010, jsou podobné a jejich podrobnější analýzu lze nalézt v přílohách.



Graf č. 3 - průběh činného výkonu v sobotu, neděli a pondělí

7 Predikce toku výkonu v long-term intervalu

Výše uvedená analýza toků výkonu nám bude v budoucnu nápomocna při návrhu kogenerační jednotky, která bude napájet vyčleněnou část pilotní oblasti Vrchlabí – Liščí kopec při zkoušení ostrovního provozu. Z naměřených dat, jsme zjistili a vypočetli následující hodnoty:

Maximální zatížení P_{\max}	973,065 kW
minimální zatížení P_{\min}	317,348 kW
střední zatížení $P_{\text{stř}}$	567 kW
doba využití maxima	420 h
doba plných ztrát	254 h
zatěžovatel	0,582973427
celková energie	408435 kWh

Tabulka č. 8 - charakteristické hodnoty

Z maximálního, minimálního a středního zatížení můžeme navrhnout instalovaný příkon P_i kogenerační jednotky, samozřejmě musíme vzít v úvahu P_i a soudobost ostatních zdrojů zejména obnovitelných. Velikost zatěžovatele nám ukazuje hospodárnost chodu jednotlivých zdrojů.

Navržená kogenerační jednotka spolu se všemi decentralizovanými zdroji v oblasti s ostrovním režimem musí splňovat následující podpůrné a systémové služby:

- zajištění primární regulace frekvence v požadované kvalitě a se zajištěním požadovaného regulačního výkonu (Primární regulace)
- zajištění sekundární regulace frekvence a salda předávaného výkonu v požadované kvalitě a se zajištěním celkového regulačního výkonu (Sekundární regulace)
- terciární regulace výkonu (Terciární regulace)
- zajištění požadované výše rychle startující zálohy (Quick Start = rychlé starty)
- zajištění studené výkonové zálohy (Rezervní výkon – studená záloha)

A to vše v požadované výši dle doporučení UCTE (Integrovaná evropská elektrizační soustava) nebo ČEPS. [8]

8 Vyhodnocení aplikace Smart Grid

Nasadí-li se technologie Smart Grids změni to celkovou filozofii provozování distribuční soustavy (dále jen DS) a to zejména tím, že budou kladeny podstatně větší nároky na samotné provozování DS. A to nejen z důvodu rizik spojených s plnou závislostí na digitálních technologiích a možnosti jejich selhání, ale také s dalšími daleko závažnějšími nebezpečími jako jsou kybernetické útoky. Napadením ovládacího softwaru může nastat velice komplikovaná situace. Samozřejmě to nejsou neřešitelné problémy, které by přímo ohrožovaly postupnou integraci této technologie do DS.

Smart Grids skýtá několik nesporných výhod. Integrace čisté obnovitelné energie, snížení ztrát v DS, zvýšení úspor elektrické energie díky zpětné vazbě spotřebitele zlepši přístup k environmentální politice. Existuje několik studií, které podrobně popisují jak velké úspory elektrické energie a emisí skleníkových plynů by přinesla implementace Smart Grids.

Otázkou však zůstává oblast finanční podpory. Směrnice evropské unie doporučuje implementaci inteligentních prvků do DS, ale není přesně definováno, jak bude implementace probíhat z hlediska ekonomického a bude třeba tyto pravidla jasně stanovit.

Tato technologie má velký potenciál, nicméně není to univerzální řešení na všechny problémy spojené s provozováním elektrizačních soustav a to jak na národní úrovni nebo postupem času i na Evropské. Samozřejmě musíme počítat s tím, že tato technologie, leč již testována v řadě zemí světa, má stále své nedostatky, které bude třeba postupem času a úsilím všech složek, podílejících se na výrobě, přenosu a distribuci elektrické energie, odstranit.

9 Závěr

Cíle této bakalářské práce bylo objasnění technologie Smart Grids. V úvodu je popsáno teoretické pozadí, jako je výpočet úbytku napětí a ztrát ve vedení, typologický rozbor elektrických sítí a základy výpočtu spolehlivosti v elektroenergetice. Následuje všeobecná definice technologie Smart Grids její historický vývoj, popis technologických prostředků potřebných k realizaci, výhody, ale i nevýhody spojené s implementací do distribuční sítě.

Druhá část této práce obsahuje analýzu dat, získaných dlouhodobým měřením v pilotní oblasti Smart Region Vrchlabí v období 4.8. - 3.9. 2010. Z těchto dat byly vytvořeny týdenní diagramy zatížení, které byly následně porovnávány s typovými diagramy dodávek přepočtených na klimatické podmínky daného dne. V práci je uveden jeden ukázkový týden, ostatní jsou zpracovány v přílohách. V tomto týdnu je také zpracován vliv soboty, neděle a pondělí na tvar křivky denního diagramu zatížení. K provedení této analýzy bylo třeba uvést teoretický aparát k tomu použitý a to zejména metodiku typových diagramů dodávky, teorii denních diagramů a způsob měření, včetně schématu a popisu síťového analyzátoru BK ELCOM v provedení ENA 500.

Dále práce obsahuje požadavky na kogenerační jednotku, která se spolu s decentralizovanými zdroji elektrické energie, zejména obnovitelnými zdroji, bude podílet na napájení vybrané lokality Liščí Kopec v ostrovním provozu.

V poslední kapitole je provedeno vyhodnocení aplikace technologie Smart Grids - její přínosy, rizika a překážky, které je třeba vyřešit před plošnou implementací do distribučních sítí.

10 Seznam použité literatury

- [1] RUSEK, Stanislav. *Spolehlivost elektrických sítí*. Ostrava, 2001. 115 s. Monografie. VŠB - TUO. ISBN 80-7078-847-X
- [2] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. Ostrava, 2008. 208 s. Skripta. VŠB - TUO. ISBN 978-80-248-1696-8.
- [3] HORČÍK, Jan. Inteligentní sítě - Česká republika nezůstává pozadu. *Ekobydlení.eu* [online]. 2010, 1, [cit. 2011-04-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.ekobydleni.eu/energie/inteligentni-site-ceska-republika-nezustava-pozadu#comment-28814>>.
- [4] KREJČÍ, Petr. *Cvičení z elektroenergetiky*. Ostrava, 2008. 107 s. Skripta. VŠB - TUO. ISBN 80-248-0471
- [5] WISZCZOR, Jan. *Optimalizace vn sítě Energetiky Třinec*. Ostrava, 2006. 45 s. Diplomová práce. VŠB - TUO. Dostupné z WWW: <<http://hdl.handle.net/10084/56304>>.
- [6] SMART GRIDS - CHYTRÉ SÍTĚ [online]. Praha :Technická dokumentace ČEZ distribuce, a.s. , 2011 [cit. 2011-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.futuremotion.cz/edee/content/file-other/future-motion/brozura-smartgrids.pdf>>.
- [7] INSTALACE INTELIGENTNÍCH MĚŘÍCÍCH PRVKŮ VE SMART REGIONU. Futuremotion.cz [online]. 17.2. 2011, 3244, [cit. 2011-05-03].
- [8] EUROENERGY S.R.O., -. Sborník technicko-ekonomických postupů vedoucích k vytvoření dispečersky řízeného systému kogeneračních zdrojů [online]. Praha : Česká energetická agentura, 2008 [cit. 2011-05-03]. Dostupné z WWW: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8145.pdf>
- [9] STUDII PRO PROJEKT SMART REGION DODÁ VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. Futuremotion.cz [online]. 13.5. 2010, 2889, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.futuremotion.cz/smartgrids/cs/novinky/2889.html>>
- [10] PETRÁK, Karel; Ing. LISÝ, Petr. SMART GRIDS. In Smart Grids & metering : Celosvětový trend v energetice. Realita, koncepty a výhledy v ČR. Praha : EGÚ, 2010. s. 8.
- [11] FEHRENBACHER, Katie. Why the Smart Grid Won't Have the Innovations of the Internet Any Time Soon. Gigaom.com [online]. 1.6. 2009, 1, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://gigaom.com/cleantech/why-the-smart-grid-wont-have-the-innovations-of-the-internet-any-time-soon/>>.
- [12] BK ELCOM : Manuál [online]. Ostrava - Pustkovec : ELCOM, a.s., 2008 [cit. 2011-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.elcom.cz/virtualni-instrumentace/produkty/bk-elcom/clanek/90-ena500.html>>
- [13] Operátor trhu s elektřinou [online]. 2011 [cit. 2011-05-03]. OTE, a.s. Dostupné z WWW: <www.ote-cr.cz>.

11 Seznam příloh

- I. Analýza dat – MS Office 2003
- II. Analýza dat – MS Office 2007-2010